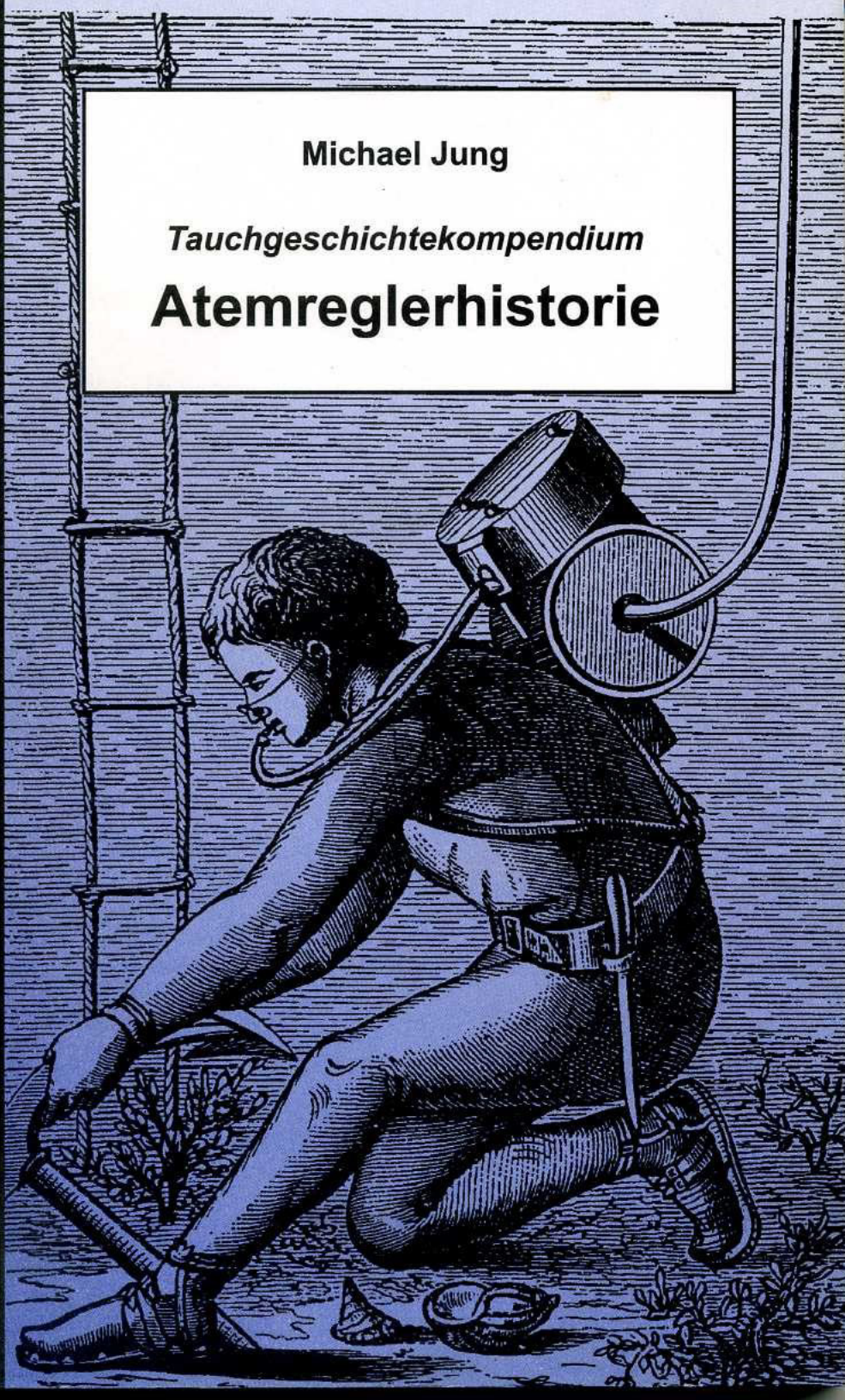
Band 3

Edition Tauchtechnikgeschichte und Unterwasserforschung

Michael Jung

Tauchgeschichtekompendium

Atemreglerhistorie



Summary

The history of the underwater demand breathing regulator is far older and more complex than is commonly assumed. Rather than beginning with the invention of the Cousteau–Gagnan in 1943, it represents the culmination of more than two centuries of technological development aimed at solving one of humanity's oldest underwater challenges: providing divers with a reliable supply of breathing gas that automatically matches both their physiological demand and the increasing ambient pressure with depth.

Early attempts at underwater breathing relied on snorkels, diving bells, and primitive compressed-air helmets. Although these devices enabled limited underwater work, they suffered from severe restrictions in mobility, safety, and inefficient air consumption. The decisive technological breakthrough required not only portable high-pressure air storage but also a regulator capable of delivering air on demand while continuously adapting to the surrounding water pressure.

This book demonstrates that the fundamental principles of the demand regulator originated not in diving technology but in early nineteenth-century gas engineering. Pressure regulators developed for gas-lighting systems in England introduced the essential combination of a pressure-sensitive diaphragm and valve mechanism that later became the basis of autonomous diving equipment. During the nineteenth century these concepts were gradually adapted for underwater use, leading to the first successful demand regulators employed in diving.

The pioneering work of Théodore Guillaumet, Benoît Rouquayrol, Auguste Denayrouze, Georges Commeinhes, Jacques-Yves Cousteau, and Émile Gagnan forms part of a much longer technological continuum than is generally recognized. While Rouquayrol and Denayrouze introduced the first practical autonomous demand regulator in the 1860s, widespread adoption remained impossible until advances in high-pressure cylinders and compressor technology made self-contained compressed-air diving feasible. Commeinhes developed a highly advanced autonomous demand regulator before and during the Second World War, but it was Cousteau and Gagnan who transformed the technology into a reliable commercial product that revolutionized recreational and professional diving worldwide.

By tracing the evolution of the demand regulator from its origins in gas engineering through its gradual adaptation to underwater applications, this volume challenges simplified historical narratives and demonstrates that technological innovation is rarely the result of a single invention. Instead, it emerges through the accumulation, adaptation, and refinement of ideas across different technological fields over many decades. The modern scuba regulator therefore represents not an isolated breakthrough but the successful convergence of engineering, physiology, compressed-gas technology, and practical diving experience into one of the most influential underwater technologies ever developed.

Das ***Tauchgeschichtekompendium*** ist ein Reihenwerk über ein bislang vernachlässigtes Forschungsgebiet der Technikgeschichte, in dem historisch wichtige oder interessante Erfindungen, Ereignisse und Personen der Tauchtechnik und Tauchmedizin in einem jeweils in sich geschlossenen Band dokumentiert werden. Es stützt sich auf neueste Forschungsergebnisse und stellt mit wertvollen, seltenen Reprints, zahlreichen Originalillustrationen und bibliografischen Angaben sowohl für Fachwissenschaftler als auch technisch Interessierte eine wichtige Quelle zur Entwicklungsgeschichte des Tauchens dar.

Edition Tauchtechnikgeschichte
und Unterwasserforschung

Band 3

Michael Jung

Tauchgeschichtekompendium Atemreglerhistorie

Technikgeschichte des bedarfsgesteuerten Atemreglers für Druckluftttauchgeräte

Verlag Andrea Kriesbach-Jung
Merzig

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Jung, Michael:
Atemreglerhistorie : Technikgeschichte des bedarfsgesteuerten Atemreglers für Drucklufttauchgeräte / Michael Jung. - Merzig-Weiler : Kriesbach-Jung, 2000
(Tauchgeschichtekompendium ; Bd. 3)
(Edition Tauchtechnikgeschichte und Unterwasserforschung)
ISBN 3-933234-05-0

Alle in diesem Buch enthaltenen Angaben, Daten, Ergebnisse usw. wurden von dem Autor nach bestem Wissen erstellt und von ihm und vom Herausgeber bzw. Verlag sorgfältig überprüft. Gleichwohl können inhaltliche Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Daher erfolgen die gemachten Angaben, Daten, Ergebnisse usw. ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie des Autors, Herausgebers oder Verlages. Weder Autor, Herausgeber noch Verlag übernehmen irgendeine Verantwortung und Haftung für etwaige inhaltliche Unrichtigkeiten. Geschützte Warennamen und Warenzeichen wurden nicht besonders gekennzeichnet. Aus dem Fehlen solcher Hinweise kann nicht geschlossen werden, daß es sich um einen freien Warennamen handelt. Konstruktionszeichnungen oder Patentbeschreibungen dürfen nicht ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Lizenzinhabers als Vorlage für Nachbauten verwandt werden. Aus dem Abdruck von Konstruktionszeichnungen oder Patentbeschreibungen kann nicht geschlossen werden, das Autor, Herausgeber oder Verlag im Besitz der Lizenzrechte sind. Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung und der Übersetzung, vorbehalten! Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes, mechanisches, optisches oder elektronisches Verfahren) ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert werden oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© COPYRIGHT 2000 by Verlag Andrea Kriesbach-Jung
Auf dem Gewännchen 1, D-66663 Merzig-Weiler; Tel. + Fax.: (+49) 06869-1789
service@AKJ-Verlag.de; http://www.AKJ-Verlag.de

Vorwort

Wie kein anderes technisches Hilfsmittel zuvor öffnete der bedarfsgesteuerte Atemregler dem Menschen das Tor zum Unterwasserraum. Viele Versuche mussten gemacht und unzählige Erfindungen mussten kombiniert werden, bis er funktionsfähig und universell einsetzbar wurde. Bevor der Atemregler seinen festen Platz an unserer Tauchausrüstung fand, gab es an ihm viele Entwicklungsschritte, Modifikationen und Verbesserungen. Entsprechend lang und facettenreich ist sein Entwicklungsweg. Von Frankreich und Amerika ausgehend begann Mitte des 20. Jahrhunderts die weltweite Vermarktung des Atemreglers, und damit auch der Siegeszug des autonomen Schwimmtauchens mit offenen, autonomen Druckluftgeräten - eine Betätigungsart, der sich heute rund 8 Millionen Menschen als Beruf oder Hobby widmen.

Die vorliegende Dokumentation spiegelt den aktuellen Stand der Technikgeschichte-Forschung zu Atemreglern wieder und basiert auf einem Vortrag, den ich im letzten Jahr bei mehreren Veranstaltungen und Seminaren hielt. Immer wieder wurde dabei der Wunsch an mich herangetragen, das Gehörte nachlesen und die gezeigten Bilder ausgiebiger betrachten zu können. Diesem Bedarf komme ich mit diesem „Tauchgeschichtekompendium Band 3: Atemreglerhistorie" gerne nach. Es enthält über den Inhalt des Vortrages hinaus noch viele weitere Details zur Technikgeschichte des bedarfsgesteuerten Atemreglers für Drucklufttauchgeräte. Die zusätzlichen Illustrationen sollen die technischen Beschreibungen im Text transparenter und leichter verständlich werden lassen. Literaturhinweise und Quellenangaben ergänzen die Darstellungen und weisen dem interessierten Leser den Weg hin zu weiterführendem Schrifttum.

Michael Jung
Merzig-Weiler, den 31. Januar 2000

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	5
Inhaltsverzeichnis	7
Frühe Tauchversuche	9
Die ersten einfachen Tauchgeräte	14
Grundkonstruktionen mechanischer Atemhilfen	30
Gasdruckregler und ihre Verwendung bei Atemgeräten	44
Das Regulatorgerät von Rouquayrol-Denayrouze	55
Die bedarfsgesteuerten Atemregler des 20. Jahrhunderts	67
Zusammenfassung	98
Literaturverzeichnis	100
Personenregister	102

Frühe Tauchversuche

So alt wie die Menschheit ist der Traum, tief ins Meer zu tauchen, und es ist recht schwierig, die allerersten menschlichen Tauchversuche nachzuweisen und genau zu datieren - sicher ist nur, daß die Chronologie des Tauchens bis weit in die Antike zurückgeht. Sie ist voll von phantastischen und heroischen Geschichten über frühzeitliche Taucher, ob diese nun nach Schwämmen oder Perlen tauchten oder feindliche Schiffe bekämpften.

Die ältesten gesicherten Hinweise, daß Menschen tauchen, stammen aus einer Zeit vor etwa 6.000 Jahren. Als Beweis dienen uns die Perlen, die vornehme Frauen im alten Baylon als Schmuck trugen. In den Trümmern dieser Stadt hat man Einlegearbeiten aus Perlmutter gefunden, die in solch großen Mengen nur Taucher beschafft haben können. Sie stellen eine Unterwasserjagd auf Fische dar. Die Arbeiten, die man bei archäologischen Ausgrabungen in Bismaya, Mesopotamien (heutiges Irak), gefunden hat, gehen sogar auf das Jahr 4.500 v.Chr. zurück.

Das heißt also, daß bereits damals nach diesen schillernden Muschelgehäusen getaucht wurde, und daß diese Meeresschönheiten schon in frühgeschichtlichen Zeiten nicht nur geborgen, sondern auch zu Zierzwecken verwendet wurden. Auch im ägyptischen Theben wurden Perlmutterschalen für Schnitzwerkarbeiten verwendet, etwa 3.200 Jahre v.Chr. In China gibt es ebenfalls schon lange Perlentaucher - 2.000 Jahre v.Chr. sollen dort wilde Stämme ihrem Kaiser neben anderen Zinsen Fische und ertauchte Austernperlen gebracht haben.

Vor etwa 2.500 Jahren erreichte die Taucherei ihren ersten Höhepunkt. In den klassischen griechischen Stadtstaaten und später im Römischen Reich entstanden regelrechte Tauchergewerbe. In dieser Zeit wuchs die Nachfrage nach Meeresgütern: Die reichen Griechen und Römer trieben häufig Sport und pflegten ausgiebig zu baden, wodurch ein großer Bedarf an Badeschwämmen entstand. Immer mehr Bürger konnten sich auch erlesene Delikatessen wie bestimmte Muscheln, seltene Farbstoffe, wie beispielsweise das aus einer Meeresschneckenart gewonnene Purpur, und schöne Schmuckstücke wie Perlen und Korallen leisten.

Schwämme, Austern, Purpurschnecken, Perlmuscheln und Korallen mußten aus dem Meer geborgen werden, und dies war fast ausschließlich die Tätigkeit von Sklaven. Sie schwammen ohne jegliche Tauchausrüstung in die Tiefe, rafften mit angehaltenem Atem in Apnoe Perlmuscheln zusammen, schnitten Schwämme ab und befestigten Tauwerk an versunkenem Gut. Nach einigen Minuten jagten sie wieder empor, und Helfer zerrten sie ins Boot, wo

sie anschließend keuchend am Boden lagen und nach Luft schnappten. Hatten sie sich wieder einigermaßen von den Anstrengungen erholt, hetzte man sie erneut herab.

Abbildung 1:
Schwammtaucher mit Sammelkorb und Ballaststein, ca. 200 v.Chr.
Aus: *Valentini, Bernard: Museum Museorum.* Frankfurt, 1704.

Oppian gibt im 2. Jahrhundert n.Chr. in seinem „Buch über die Fischerei" eine ausführliche Schilderung über die Ausstattung und Arbeitsweise der antiken Schwammtaucher: „Der erste Taucher, der hinabsteigt, befestigt ein Seil an seiner Hüfte. Er nimmt Olivenöl in seinen Mund und stopft ölgetränkte Schwammstücke in Ohren und Nase. Er hat nur zwei Werkzeuge, und zwar in jeder Hand eines: Eine sehr scharfe, gebogene Sichel und einen schweren Stein. Nachdem er einen tiefen Atemzug genommen hat, taucht er ab. Durch das große Gewicht des Steines in der einen Hand wird er schnell hinabgezogen. Trotz den ölgefüllten Schwammstücken in den Ohren[1] beginnen sie sehr zu schmerzen. Gleichzeitig werden seine Augen und sein Körper stark zusammengepreßt. Er schlägt mit dem Stein mehr auf dem Meeresgrund auf, als daß er sacht landet. Dann spukt er kleine Mengen des Öls aus seinem Mund aus, das langsam zur Oberfläche aufsteigt, sich dort ausbreitet und die Wellen glättet. So bekommt der Meeresgrund mehr Licht, und der Taucher kann besser sehen. Dann macht er sich zu den Felsen auf und geht auf die Suche nach Schwämmen. Ohne einen Moment zu zögern schwingt er die scharfe Sichel. Im gleichen Augenblick, in dem er den Schwamm vom Fels weggenommen

[1] Bis zur Entdeckung der Antibiotika war Olivenöl ein oft benutztes Heilmittel gegen Ohrenentzündungen.

hat, gibt er seinen Kameraden an der Oberfläche mit dem Seil ein Zeichen, damit sie ihn wieder so schnell wie möglich hochziehen. Denn wenn der Schwamm erst einmal vom Felsen gelöst wurde, verbreitet sich sofort sein tödliches Gift, dem schon viele tapfere Männer zum Opfer fielen. Dies ist der Grund, warum der Taucher so schnell nach oben will, und seine Kameraden haben nach seinem Zeichen nichts eiligeres zu tun, als ihn so schnell wie möglich hochzuziehen. Der Taucher kommt nun aus dem Wasser, aber man muß ihn trotz der Schnelligkeit seiner Helfer bedauern, denn das Gift der Schwämme hinterläßt jedesmal große Verletzungen. Der Taucher kommt erschöpft, atemlos, voller Angst vor den Schrecken der Tiefe nach oben und blutet manchmal aus den Ohren, der Nase oder sogar dem Mund."[2]

Das Perlentauchen war eine ebenso schwere Tätigkeit wie das Schwammtauchen. Die geschundenen Perlentaucher versuchten deshalb oft, einen Anteil von der Beute für sich selbst abzuzweigen. Dies wurde ihnen allerdings sehr erschwert. Von Hermann Stelzner erfahren wir, wie das Öffnen der Perlmuschel vor sich ging: „Unter schärfster Aufsicht und erdenklichsten Verhütungsmaßregeln gegen Diebstahl wird das Öffnen der Perlmuscheln vorgenommen. Jeder Arbeiter, der am Tische sitzend Muscheln zu öffnen hat, wird von zwei Aufsehern, die neben ihm stehen, scharf beobachtet. Die bekanntesten Manipulationen zum Unterschlagen von Perlen sind folgende: Der Schaft des Messers, mit welchem die Perlen geöffnet werden, ist hohl, so daß ein taschenspielerisch veranlagter Arbeiter eine Perle hineinschmuggeln kann. Das Messer wird darum genauer Kontrolle unterworfen. Ein anderer Öffner hat plötzlich das Bedürfnis, eine Zigarette zu rauchen. Er benutzt die Gelegenheit, eine Perle im Munde zu verbergen. Wer rauchen will, muß sein Messer in den Tisch stechen, aufstehen und die geöffneten Hände vorzeigen. Andere lassen Perlen zu Boden fallen und klemmen sie zwischen die Fußzehen oder sie lassen sie in die bis zu den Knien aufgekrempelten Hosenwulste gleiten. Schließlich arbeiten die Öffner manchmal mit Komplizen, welche sich unter den Leuten befinden, die das Weichtier herauszunehmen haben; es werden darum erst zu Beginn der Arbeit die Leute bestimmt, welche die Muscheln zu öffnen, zu reinigen oder das Weichtier zu entfernen haben. Verabredungen können dann nicht mehr getroffen werden. Fremde werden während dieser Arbeit nicht zugelassen. Meistens ist der Unternehmer selbst zugegen, um die Aufseher zu überwachen. Wer beim Öffnen der Perlmuschel zuerst eine Perle erblickt, ruft *albricias!* - frohe Botschaft! Er erhält eine Prämie, sei es nun der Öffner selbst, einer der Aufseher oder ein Arbeitskollege."[3]

[2] Oppian: *Über das Fischen*, Halieutica, S. 634-675
[3] Stelzner, Hermann: *Tauchertechnik*. Lübeck, 1943, S. 318 ff

Es gibt in der klassischen Literatur viele Hinweise darauf, daß Taucher auch für andere Arbeiten als Perlen- oder Schwammtauchen unter Wasser eingesetzt wurden, und zwar insbesondere für Kriegszwecke. Beutelüsterne Kriegsherren erkannten den großen Vorteil, den der Taucher ihnen bei der Lösung spezieller Aufgaben bietet: seine Unsichtbarkeit. Der griechische Geschichtsschreiber Herodot schrieb etwa 460 v.Chr. von einem berühmten Taucher namens Scyllias, der für den Perserkönig Xerxes mit großem Erfolg Wertgegenstände aus gesunkenen Schiffen barg. Nach getaner Arbeit wurde er allerdings aus unbekanntem Grund von Xerxes verhaftet. Scyllias konnte jedoch gemeinsam mit seiner Tochter Cyana während eines Sturmes über Bord springen. Aus Rache an Xerxes soll Scyllias anschließend unter Wasser die Ankertaue aller Kriegsschiffe durchschnitten und sie so dem tosenden Sturm preisgegeben haben, der sie auf die Klippen des Kap Artemision schmetterte. Die Leistungen des wohl ältesten Marinetauchers Scyllias wurden in späteren Jahren so berühmt, daß man sogar sein Standbild im Apollotempel von Delphi aufstellte - ob man allerdings Herodot, der berichtet, daß Scyllias in der Sturmesnacht 1500 Meter unter Wasser zurücklegte, um die Küste zu erreichen, Glauben schenken darf, bleibt offen. Wahr scheint jedoch zu sein, daß des Xerxes' Schiffe vom Sturm auf die Klippen geworfen wurden und die Griechen den Sieg davontrugen.

Ein anderer Philosoph, und zwar der Geschichtsschreiber des peloponnesischen Krieges, der Geschwaderkommandant, Stratege und Historiker Thukydides berichtet ausführlich von der Zerstörung der Verteidigungsanlagen von Syrakus durch Taucher um 414 v.Chr.: „Im Hafen kam es auch über die Palisaden zu einem Handgemenge, welche die Syrakusaner vor dem Schiffslager in das Meer schlagen lassen, damit ihre Schiffe dahinter sicher liegen möchten und die Athener ihnen mit den ihrigen nicht beikommen und schaden könnten. Die Athener ruderten nämlich mit einem mächtigen Lastschiff, das mit hölzernen Türmen und einem Geländer versehen war, gegen sie heran, während indessen andere aus kleinen Booten die Pfähle mit Stricken herauswanden oder abbrachen, oder auch unter Wasser gingen und sie da absägten. Auf diese Leute nun schossen die Syrakusaner aus ihrem Schiffslager, und die von dem großen Schiff beantworteten es. Endlich brachen doch die Athener den größten Teil der Pfähle heraus. Nur blieb das Beschwerlichste noch zurück, nämlich das versteckte Pfahlwerk; denn einige waren so eingerammt, daß sie nicht über das Wasser herausragten, so daß man mit keinem Schiff dahin kommen konnte, ohne Gefahr zu laufen, darauf wie auf einen Zaun zu stoßen und darin stecken zu bleiben. Doch auch hierzu fanden sich für Geld Schwimmer, die unter Wasser gingen und sie absägten. Trotzdem brachten die Syrakusaner ein neues Pfahlwerk zustande."

Das Tauchen zu kriegerischen Zwecken ist von der Antike bis zum Mittelalter durch alle Jahrhunderte hindurch und in allen Kulturkreisen präsent. Die Römer hatten eigens hierzu Marinesoldaten ausgebildet, „urinatores" genannt, die zum Beispiel belagerten Städten Säcke mit Proviant zuführten oder zum Nachrichtendienst, sogar zur Beschädigung der Dämme und Wälle benutzt wurden. Die Festung Rumantia versuchte sich gegen diese Taucher durch Netze mit Klingeln und unterseeischen Drehtürmen mit scharfen Messern zu schützen.

Im Mittelalter stand in der Ausbildung der Ritter neben den höfischen Umgangsformen und Kampftechnik die körperliche Ertüchtigung im Wasser mit im Vordergrund. Das Tauchen wurde dabei ebenfalls ausgiebig geübt. Welche hohe Bedeutung das Tauchen in dieser Zeit besaß geht wohl am besten aus der Tatsache hervor, daß Tauchen zu den „sieben leiblichen Fertigkeiten der Ritter" gehörte. Den Beweis dafür liefert uns Johannes Rothes „Thüringer Ritterspiegel" von 1400, in dem es bei der zweiten Fertigkeit heißt: „Die zweite, daß er schwimmen kann, daß im Wasser dreiste er tauche, daß sich krümm' und dreh' der Mann auf dem Rücken und auf dem Bauche."[4] Bis zur Zeit Louis XIV. unterhielt auch Frankreich Marinetaucher; später traten beim Tauchen die zivilen Zwecke, das Gewinnen von Korallen, Schwämmen, Austern und Perlen aber wieder mehr in den Vordergrund.

Apnoetaucher leisteten also Jahrhunderte hindurch sowohl im Frieden als auch im Krieg wertvolle Dienste. Der Fortschritt der Technik verlangte aber immer häufiger auch den Einsatz von Tauchern zu längerandauernden Unterwasserbauarbeiten, vor allem beim fortschreitenden Ausbau von Hafenanlagen, die an manchen Küsten bereits vor Christi Geburt so großzügig und technisch ausgeklügelt angelegt wurden, daß selbst unsere heutige Wasserbautechnik manchmal noch von den Hafenbaumeistern des Altertums lernen kann. Auch der Seeverkehr wuchs gewaltig an, doch die nautischen Kenntnisse entwickelten sich kaum weiter. Stürme, Riffe und andere Gefahrenquellen forderten von der Seefahrt riesige Tribute; Seeräuber, die zeitweise fast das ganze Mittelmeer beherrschten, und Kriegsflotten bohrten unzählige Handelsschiffe in den Grund. Auf diese Weise entstand ein weiteres Arbeitsfelder für Taucher. Sie bargen Schätze aus Gold und Silber, Kunstwerke aus Marmor und Bronze ebenso wie untergegangenes, in großen tönernen Krügen verstautes Getreide.

Viele der versunkenen Schiffe lagen aber tiefer als Apnoetaucher tauchen können. Andererseits erforderte die Bergung der Schiffsladungen oder Bauarbeiten in Häfen eine längere Aufenthaltszeit unter Wasser. Bereits früh wurde

[4] Rothe, Johannes: *Ritterspiegel*. 1400, Strophe 2701-2705, und Bartsch, K.: *Mittelhochdeutsche Gedichte*. Stuttgart, 1860

also deutlich, daß man besondere Hilfsmittel einsetzen musste, um tiefer zu Tauchen und dort längere Zeit verweilen zu können.

Die ersten einfachen Tauchgeräte

Die ersten Hilfsmittel, an die man dachte, waren überlange Saugrohre, die man nach Art eines Schnorchels verwenden wollte. Diese Idee wurde sehr wahrscheinlich, wie vieles andere auch, der Natur abgeschaut. Aristoteles schrieb schon um 350 v.Chr., man verwende solche Schnorchel in der gleichen Art wie Elefanten beim Schwimmen im Wasser ihren Rüssel.

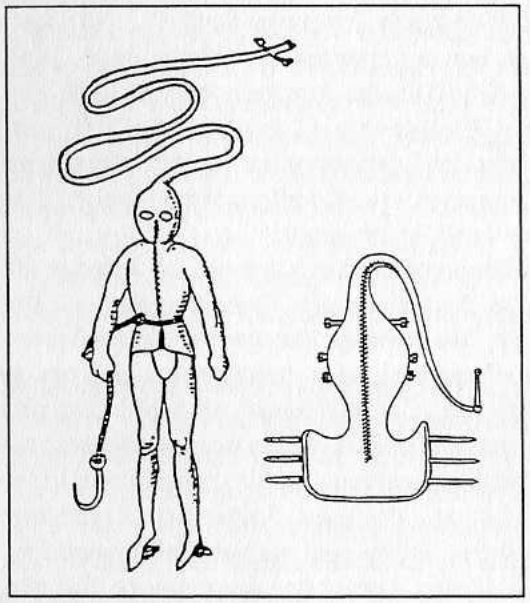


Abbildung 2:
Konstruktionsvorschlag für ein Saugrohratemgerät, ca. 1450. Vorgesehen war ebenfalls ein aufblasbarer Schwimmgurt (rechts), mit dessen Hilfe sich der Taucher im Wasser austarieren konnte. Die Klappen unter den Schuhsohlen waren die ersten Vorläufer unserer heutigen Flossen und sollten dem Taucher bei aufrechter Haltung die Fortbewegung ermöglichen.

Im Laufe der Jahrhunderte gibt es viele primitive Konstruktionsvorschläge für Schnorchel. Einer der ältesten deutschen Darstellungen finden wir in dem „Fischbüchlein vom Bodensee". Diese Sammlung von Fischfangmethoden stammt von einem Privatmann um 1450, welche er zu seinem persönlichen Gebrauch zusammengestellt hat. Neben einer Reihe von Fischrezepten und Leuchtködern verdient die Beschreibung eines Taucherhelms mit Schnorchel für den Unterwasserfang besonderes Interesse. Es handelt sich bei dem als „Wasserkappe" bezeichneten Helm um einen jackenartig verlängerten Taucherhelm, der im Gürtelbereich wasserdicht abschließt. Er verfügt über zwei verglaste Sichtöffnungen und eine weitere Öffnung am Helmfirst für den

Schnorchel. Der biegsame Schnorchel ist an einem hölzernen Schwimmer aufgehängt.

Aus physiologischen Gründen sind Schnorchel ab einer Länge von etwa 30 cm jedoch vollkommen ungeeignet für das Tauchen. Die Atemmuskulatur reicht in grösserer Tiefe nicht aus, um gegen den Wasserwiderstand die Luft

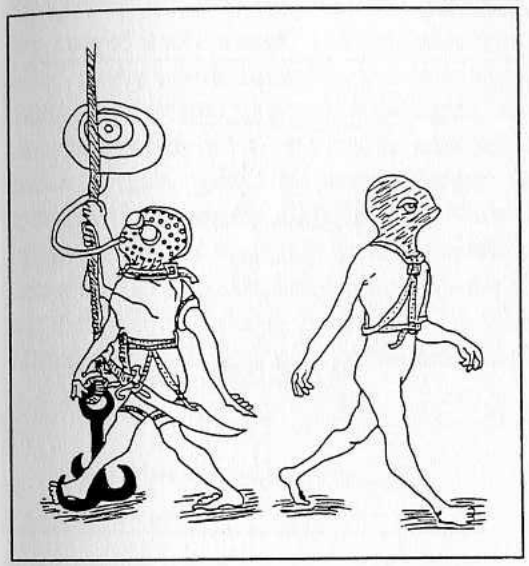


Abbildung 3:
Links ein Saugrohratemgerät, rechts eine primitive Tauchkappe ohne spezielle Atemluftversorgung, ca. 1460. Beide waren für das Tauchen vollkommen ungeeignet.
Aus: *Hartlieb, Johannes: Kriegsbuch*, 1460.

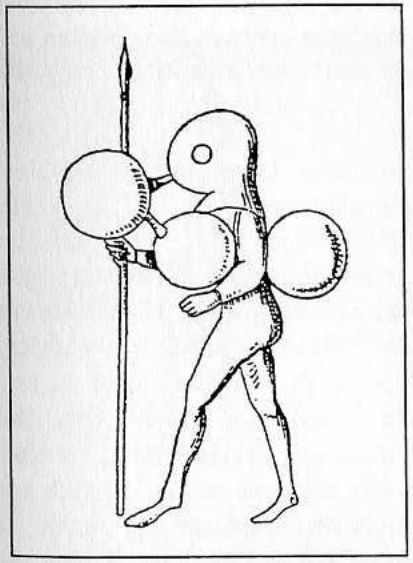


Abbildung 4:
Um 1500 dachte man daran, Tauchern mehrere Atemluftbehälter aus Schweinsblasen mitzugeben. Diese Idee war unpraktikabel, bedenkt man einerseits wie gering diese Atemreserve war und wieviel Gewicht zur Auftriebskompensation erforderlich gewesen wäre.
Aus: *Eyb, Ludwig von: Kriegsbuch*, 1500.

durch ein langes Rohr einzuatmen. Der Einatemwiderstand ist zu gross. Da also eine Atmung durch überlange Saugrohre von der Oberfläche beim Tauchen ausschied, und noch keine Pumpen erfunden waren, welche stark genug waren, um Atemluft zum Taucher hinunterzutransportieren, musste versucht werden, eine genügend große Reserve an Atemluft mitzunehmen. Dies führte im nächsten Schritt zu den Taucherglocken.

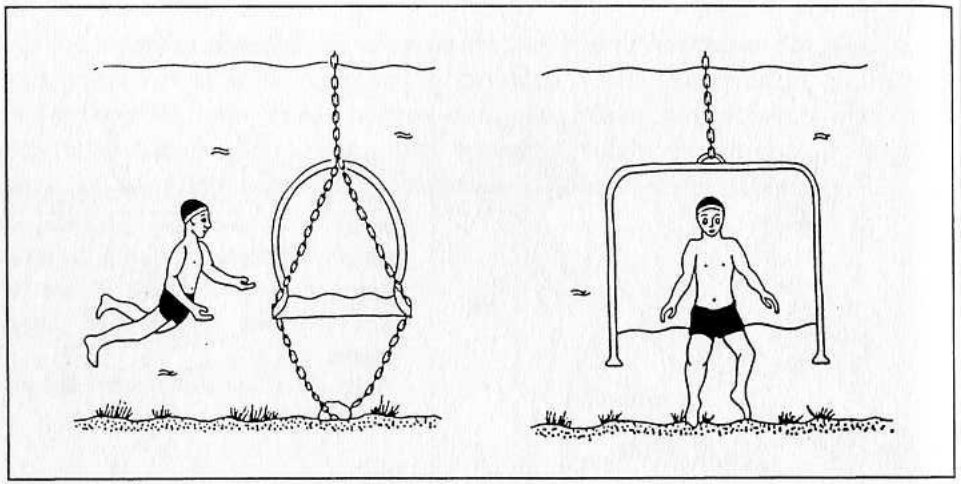


Abbildung 5:
Frühe Taucherglocken bestanden anfangs aus umgestülpten, grossen Amphoren, in welchen die Apnoetaucher bei Bedarf Luft schöpfen konnten. Die Glocken wurden dann vergrössert, so dass der Taucher darin stehen und sich kurze Zeit ausruhen konnte, bevor er wieder hinaustauchte.

Taucherglocken wurden wie die Schnorchel zuerst von Aristoteles beschrieben. Aristoteles, ein Schüler Platons, gilt um 350 v.Chr. als Verfasser der „Mechanischen Probleme". Dieses Werk bildet gleichzeitig den ältesten Beleg über die Verwendung von Tauchgeräten überhaupt. Aristoteles gibt uns in seine Schrift Kunde von einer einfachen Taucherglocke: „Um jene, welche Schwämme fischen, mit Luft zu versorgen, läßt man Gefäße ins Wasser hinab, deren Öffnung nach unten gerichtet ist, so daß die Luft nicht zu entweichen vermag. Sie sinken langsam auf den Grund, man achtet dabei, daß sie senkrecht bleiben. Bei der geringsten Schwankung dringt Wasser hinein, und sie stürzt um." Die einfache Taucherglocke entstand wahrscheinlich aus einem grossen Tonkrug, der dem Taucher über den Kopf gestülpt wurde. Darin hielt sich eine Luftblase, die dem Taucher kurze Zeit zum Atmen dienen konnte. Ein Vorbild für diesen frühen Vorläufer der Taucherglocke scheint

Aristoteles bei seinen Beobachtungen der luftgefüllten Netze der Wasserspinne gefunden zu haben.

Der große Philosoph beschäftigte sich in seinen Arbeiten auch mit der Frage, weshalb das Trommelfell vieler Männer platzte, wenn sie ins Meer hinabtauchen. Er schreibt: „Warum platzen denen, die in dem Meer tauchen, die Ohren? Ist es darum, weil der zurückgehaltene Atem die Ohren anfüllt, sie arg spannt und sprengt? Oder müssen wir nicht sagen: wenn das die Ursache wäre, dann würde dasselbe ja auch in der Luft geschehen? Oder kommt es daher, weil etwas, was nicht nachgibt, rasch zerbricht, besonders beim Zusammenprallen mit einem harten statt mit einem weichen Körper? Was angeschwellt wird, gibt also weniger nach. Die Ohren werden nun, wie vorhin festgestellt, durch das Anhalten des Atems geschwellt; so daß das Wasser, das härter ist als die Luft, sie beim Drauffallen zum Platzen bringt. Warum binden sich die Taucher Schwämme um die Ohren? Geschieht es, damit die Fluten nicht durch heftiges Aufprallen die Ohren zerreißen? Denn nun können die Ohren nicht so mit Wasser vollaufen wie ohne die Schwämme."[5]

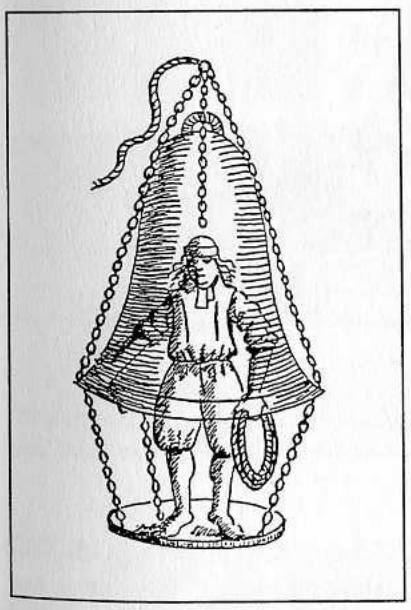


Abbildung 6:
Eine einfache Taucherglocke für ein Mann, etwa 1650. Der Taucher blieb innerhalb der Glocke und arbeitete von dort aus mit langen Zangen und anderen Werkzeugen auf dem Meeresgrund. Mit dieser Methode wurden 1664 die Kanonen des schwedischen Schiffes „Vasa" geborgen.

[5] Aristoteles: *Probleme*. Paderborn, 1961, Seite 364

Es hat nachweislich im Altertum nicht an Versuchen gefehlt, mit allerlei technischen Hilfsmitteln den Meeresboden zu erreichen, und dabei ist damals besonders mit Taucherglocken Beachtliches geleistet worden. Philon aus Byzanz berichtet beispielsweise, daß man im Jahre 210 v.Chr. den Silberschatz eines gesunkenen Schiffes aus 32 Meter Tiefe mit Hilfe einer Taucherglocke heraufgeholt habe. Livius und Lucanus beschreiben ähnliche Unternehmungen. Aus dem Bericht des Titus Livius geht hervor, daß zur Zeit, als Perseus König von Makedonien war, Taucher zahlreiche Schätze aus dem Meer fischten. Die Bewohner der Insel Rhodos erließen ein Gesetz, um festzulegen, welcher Prozentsatz des Gesamtwertes der Schätze dem Taucher zustand. Je tiefer sich die kostbaren Gegenstände befanden, desto höher war dieser Anteil. Auch bei Plutarch finden einige Tauchunternehmen Erwähnung. Nach dem Untergang des Römischen Reiches wurden aber derartige Zeugnisse nach und nach seltener.

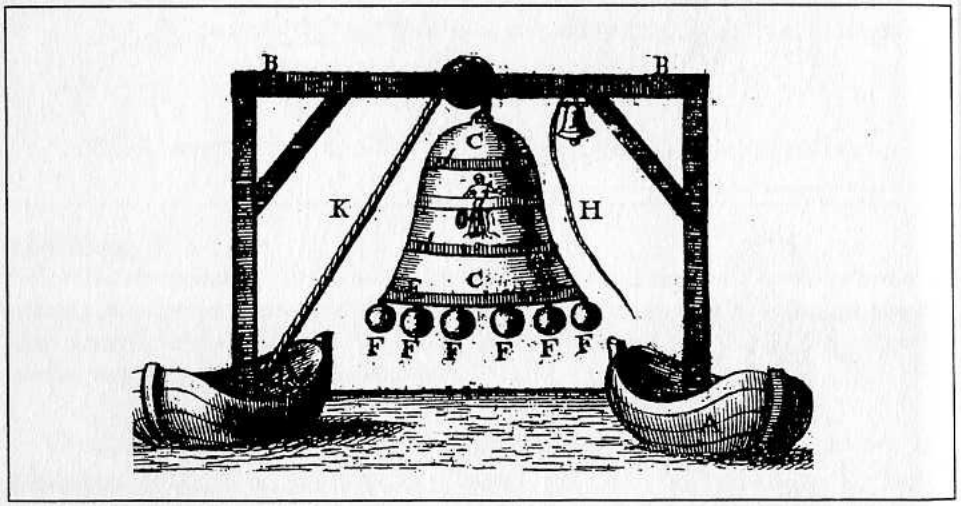


Abbildung 7:
Eine grosse Taucherglocke, wie sie 1677 im Hafen von Cadaques für Bergungsarbeiten eingesetzt wurde. Sie war vier Meter hoch und man konnte bis zu zwei Stunden darin arbeiten.

1538 führten zwei Griechen Kaiser Karl V. bei der spanischen Stadt Toledo auf dem Tajo eine Taucherglocke - „cacabus aquaticus" genannt - vor. Tausende Zuschauer sahen den riesigen Topf mit der Öffnung nach unten an einem dicken Seil über Wasser hängen. Die Erfinder dieses Monstrums verschwanden mit brennenden Talgkerzen in den Händen im Inneren der Glocke.

Dort waren Bretter befestigt, auf die sie sich setzten. „Man muß dieses Wunder mit eigenen Augen sehen", schreibt der Weltreisende John Taisnier, der Karl V. auf seiner Reise nach Afrika begleitet hatte, in seinem 1562 in Köln veröffentlichten Buch „Opusculum perpetum memoria dignissinum", „um sich davon zu überzeugen, daß man sich unter Wasser lassen kann, ohne die Kleidung naß zu machen, und sogar unter Mitnahme einer brennenden Kerze".

Immer häufiger wurde nun die Glocke bei der Hebung von Schätzen gesunkener Schiffe benutzt: mit besonderem Erfolg einmal von dem Engländer William Phips. Er konnte bei den Bahamas einen enormen Schatz aus einem spanischen Schatzschiff heben. Der Abenteurer wurde dafür vom König von England 1687 in den Adelsstand erhoben.

Abbildung 8:
Die Taucherglocke, wie sie 1535 Francesco de Marchi benutzte, um damit die im Nemisee versunkenen Schiffe des Kaisers Caligula zu heben, ähnelte schon sehr stark einem offenen Taucherhelm.

Taucherglocken leisteten Jahrhunderte lang gute Dienste, doch erwiesen sie sich mit der Zeit als zu unbeweglich und zu umständlich für viele Aufgaben. Man wünschte sich eine grössere Mobilität und ein leistungsfähigeres Tauchgerät als eine Glocke. Gegen Ende des 17. Jahrhunderts, parallel zu dem Aufblühen der Naturwissenschaft und der Technik in der Renaissance, bemühte man sich wieder in verstärktem Maß, verbesserte Atmungsvorrichtung für Taucher und einfachere Hilfsmittel zu erfinden. Heute kann man leicht feststellen, daß die Bemühungen der frühen Erfinder in zwei grundsätzlich verschiedene Richtungen führten: Der Mensch konnte sich entweder dem Umgebungsdruck aussetzen, der ihn umgab, oder sich vor ihm in gepanzerten Geräten abschirmen. In beiden Fällen mußte er einen genügend grossen Vorrat an Atemluft mitführen, wenn er unabhängig und über eine längere Zeit unten bleiben wollte.

Eine Zwischenstufe zwischen Taucherglocke und Taucheranzug stellt die Erfindung von Guglielmo di Lorena dar. Er handelt sich dabei um eine als Taucherhelm verkleinerte Taucherglocke. Sie wurde auch tatsächlich eingesetzt, und zwar 1535 von Francesco de Marchi zur Bergung eines Wracks im Nemisee. Die Glocke wird aber nur für kurze Zeit gereicht haben, denn sie enthielt kein grosses Luftvolumen und hatte keine Frischluftzufuhr. Durch die Kette zwischen Helm und Oberfläche konnte der Taucher nur in einem geringen Radius auf dem Boden arbeiten. Aber immerhin stellt dies die erste Darstellung des offenen Taucherhelmes dar!

Ein weiterer Schritt in Richtung unserer modernen Tauchergeräte machte der Italiener Johann Alfons Borelli. Wie so oft in der Geschichte, kam auch diese Erfindung durch eine aufmerksame Naturbeobachtung zustande. Borelli, der im Jahre 1679 ein Buch über die Körperbewegung der Tiere schrieb,[6] und damit die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen über das Schwimmen veröffentlichte, wandte sein Interesse von den Atembewegung der Fische hin zu den Tauchapparaten. Seine Idee für einen autonomen Taucheranzug bestand aus einem grossen Kupferhelm, in dem der Atemluftvorrat enthalten war, und klauenartigem Schuhwerk. Er brachte einen besonderen Schlauch zum Ausatmen der verbrauchten Luft an. Dieser machte einen grossen Bogen vom Mund des Tauchers aussen herum zum Taucherhelm zurück. Borelli glaubte, dass die Ausatemluft durch das Abkühlen in dem Rohr zwischen Mund und Helm wieder gereinigt werden würde und wiederverwendet werden könnte. Es ist leider nicht bekannt, ob Borelli den Anzug baute und damit wirklich tauchte.

[6] Borreli, J. Alfonso: *De motu animalium*. Ed. Nova Neapolitania, Naples, 1734. Deutsch: *Die Bewegung der Tiere*. Leipzig, 1927

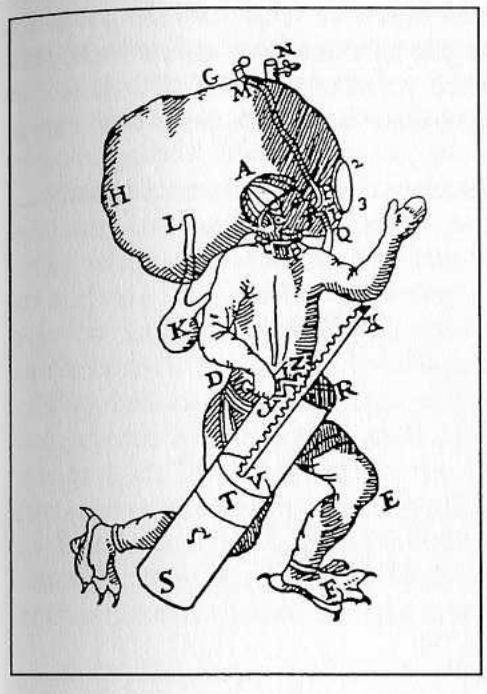


Abbildung 9:
Der Italiener Alphonse Borelli skizzierte um 1679 diesen Taucheranzug mit grossem Kupferhelm und variablem Ballastwassertank.

Eine Verbindung von Taucherglocken und Taucheranzug schaffte der Astronom Edmund Halley im Jahre 1716.[7] Seine grosse Taucherglocke bestand aus Holz, unter der ein schwerer Eisenring an Stangen befestigt ist. Innerhalb der Taucherglocke, ist ringsum an der Wandung eine Bank angebracht, auf die sich die Taucher setzen können. Sind sie auf dem Boden des Meeres angelangt, dann verlässt ein Taucher mittels eines offenen Taucherhelms die Glocke, um frei auf dem Grund arbeiten zu können. Seine frische Luft erhält er durch einen Schlauch, der in die Taucherglocke führt. Die Insassen der Taucherglocke erhielten ihre Frischluft durch ein Versorgungssystem mittels auf- und ab pendelnder Fässer.[8] Halley ließ sich mit vier Gefähr-

[7] The art of living underwater, in: *Philosophical Transactions*, 1716

[8] Anders Franzen schreibt 1961 in seinem Buch *Das Kriegsschiff Vasa*, dass 1663-1665 bei der Bergung von 53 der 64 Kanonen des 1618 bei Stockholm gesunkenen schwedischen Flaggschiffes durch Albrecht von Trieleben und Andreas Peckell eine Taucherglocke eingesetzt wurde, die durch hölzerne Fässer mit Frischluft versorgt wurde. Eine Illustration findet sich in der *National Geographic*, Januar 1962 auf Seite 48. Bislang konnte diese Aussage jedoch nicht durch Quellen belegt bzw. bestätigt werden. Francesco Negri, der in seinem Buch *Viaggio Settentionale* von 1700 die Bergungsarbeiten beschreibt, erwähnt keine solche Frischluftzufuhr.

ten in diesem Apparat 15 Meter tief ins Meer hinab, und hielt sich dort über eine Stunde lang auf. Als der englische Ingenieur John Smeaton 1778 den schwierigen Bau des Hafens von Ramsgate ausführte, verwandte er die Halleysche Taucherglocke in einer wesentlich verbesserten Form. Er machte die Glocke selbst aus Gußeisen und schaffte die frische Luft durch eine Pumpe nach unten.

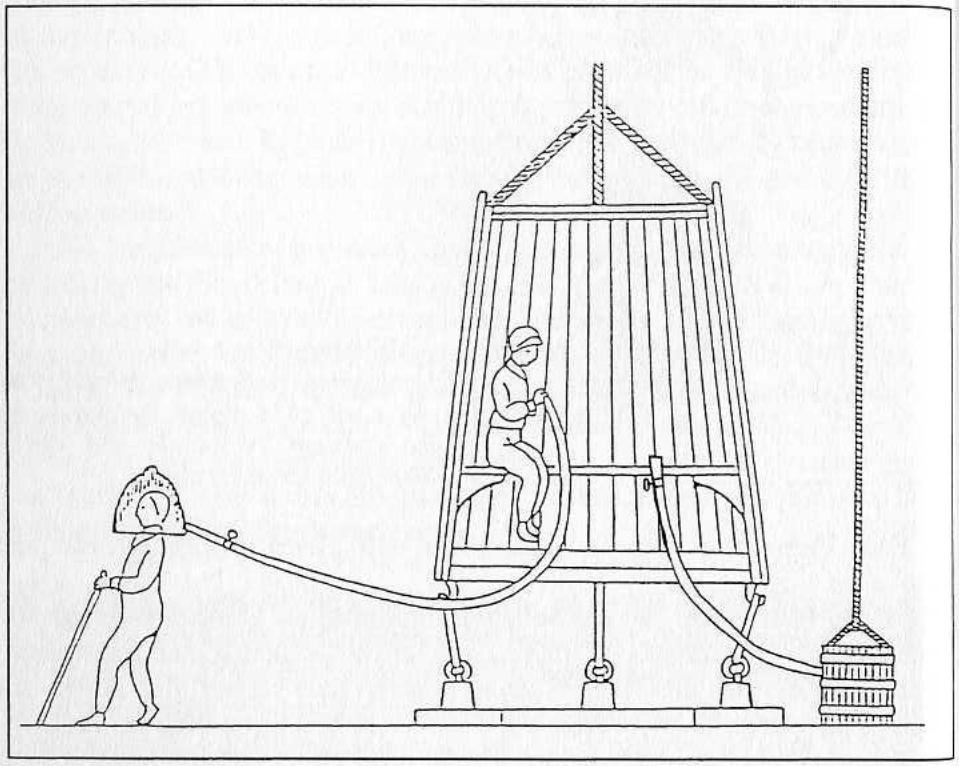


Abbildung 10:
Die Taucherglocke von Edmund Halley, 1716, ermöglichte einem Taucher mit offenem Taucherhelm den Ausstieg für externe Arbeiten in geringem Radius um die Hauptglocke.

So fortschrittlich auch diese offenen Taucherhelme waren, blieb ihnen doch ein gravierender Nachteil: Der Taucher war mit dem Luftschlauch an die Glocke oder an eine Pumpe an der Oberfläche gefesselt, und er konnte sich nur aufrecht schreitend vorwärts bewegen. Wollte er sich auf dem Grund knien um dort eine Arbeit zu erledigen, so war ihm dies ab einem gewissen Neigungswinkel unmöglich, denn dann lief der Helm voller Wasser. Die Erfinder versuchten deshalb, Taucherglocke und Taucherhelm weiter zu verbessern. Die Glocke war zu schwer und zu unbeweglich, und für schnelle, einfache Arbeiten, bei der der Taucher beweglich sein musste, einfach nicht geeignet. Deshalb machten sich findige Köpfe daran, verbesserte autonome Tauchgeräte herzustellen, welche dem Taucher vollkommene Bewegungsfreiheit und einen längeren Aufenthalt auf dem Meeresgrund bieten sollten.

Einer der ersten, die eine brauchbare Idee hatten, war der deutsche Botaniker, Arzt und Naturforscher Joseph August Schultes.[9] Er schlug 1792 vor, an einen offenen Taucherhelm Druckluftbehälter zu befestigen, um den Taucher so von einer Oberflächenversorgung unabhängig zu machen. Als Druckluftbehälter schlug er einfache „Windbüchsen" vor, welche bereits seit einigen Jahrhunderten für andere Zwecke erfunden waren. Man verwandte sie zunächst zum schnellen Anfachen von Schmiedefeuern und für die Luftzufuhr von grossen Kirchenorgeln. Ende des 18. Jahrhunderts fanden sie dann Anwendung als Druckluftreservoir von Luftgewehren. Von diesen Windbüchsen stammen unsere heutigen Druckluftflaschen für Tauchgeräte ab.

Erwähnenswert ist, dass bei Schultes die Luft aus den Windbüchsenflaschen aus ökonomischen Gründen nicht kontinuierlich fliessen, sondern nur in gewissen Abständen ausströmen sollte. Er wollte ein mechanisches Uhrwerk

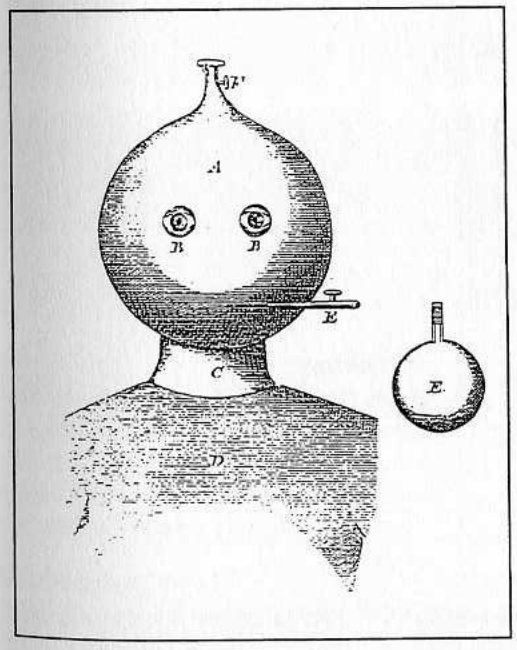


Abbildung 11:
Der offene Taucherhelm von Joseph August Schultes, 1792. Rechts der kugelförmige Druckluftbehälter.

[9] Jung, Michael: *Tauchgeschichtekompendium Joseph August Schultes*. Merzig, 1998.

einsetzen, dass in gewissen Zeitabständen ein Ventil betätigte und einen Frischluftstoss freigab, ähnlich wie beim Abzug der Windbüchse.[10] Schultes schlug auch vor, dass man statt Druckluft auch reinen Sauerstoff zum Tauchen verwenden könnte.

In der Zeit von Schultes hatten die Druckluftflaschen aber noch viel zu wenig Speichervermögen, um als Tauchgeräte eingesetzt zu werden. Mit einer einzylindrigen Handpumpe ähnlich wie unsere heutigen Fahrradpumpen wurden sie gefüllt. Dabei brachten 1.500 Stösse maximal 10 bar Betriebsdruck! Deshalb konnte Schultes seinen Vorschlag, einen Taucher mit einer Druckluftreserve autonom zu machen, aufgrund fehlender technischer Möglichkeiten leider nie selbst praktisch umsetzen, aber es scheint so, als das seine Idee einige Jahre später im Ausland aufgegriffen, weiterentwickelt und in der Praxis eingesetzt wurde.

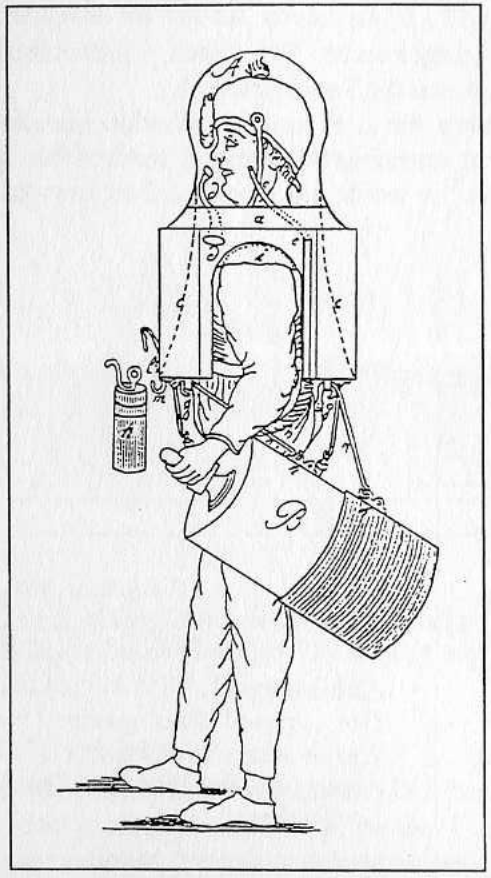


Abbildung 12:
Karl Heinrich Klingerts offener Taucherhelm, 1797. Der Taucher trägt an seiner Seite den grossen, zylindrischen Druckluftbehälter. Mit einem Handventil konnte er den Luftzustrom dosieren.

[10] Wenige Jahre später, 1808, schlug auch der Franzose Touboulic in seinem Patent F 560 zu einer Tauchermaschine eine ähnliche, manuelle Regelung der Sauerstoffzufuhr vor.

Ein anderer interessanter Entwurf stammt von Karl Heinrich Klingert aus dem Jahr 1797, den er aber erst 1822 in einem Buch veröffentlichte. Er hatte seinen Taucher ebenfalls mit einem offenen Taucherhelm ausgerüstet, als Luftreservoir diente eine grosse, zylindrische Druckluftflasche, die er seitlich auf Gürtelhöhe befestigte. Aus ihr sollte kontinuierlich Frischluft in den Helm strömen.[11] Die Stärke des Luftstromes konnte er manuell an dem Flaschenventil regeln. Das Ausatmen sollte durch ein spezielles Rohr ins Wasser geschehen, damit sich kein Kohlendioxid im Helm ansammeln konnte.

Leider scheint Klingerts autonomes Gerät nur auf dem Papier geblieben zu sein. Klingert konstruierte den allerersten Kompressor für Tauchflaschen. Er besass einen Zylinder („Stiefel" genannt) und konnte Luft auf bis zu 15 bar

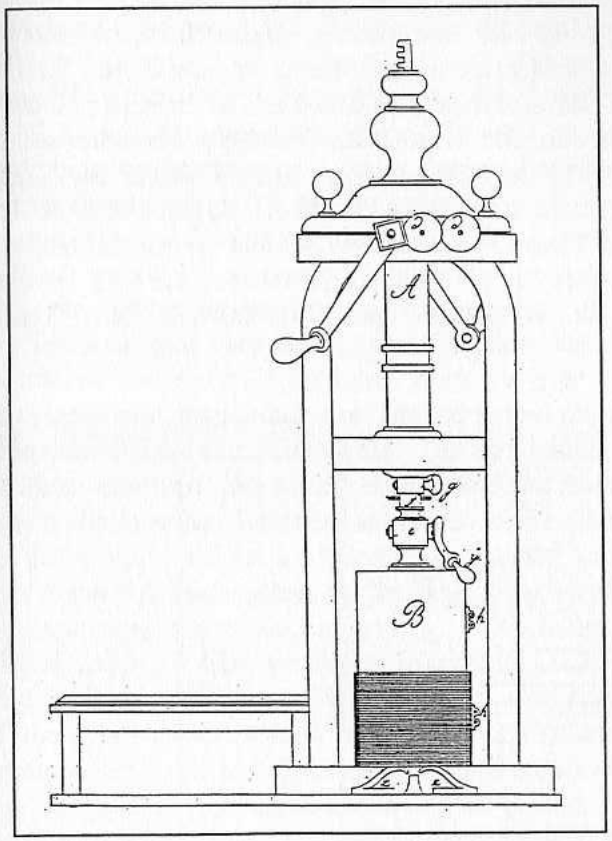


Abbildung 13:
Karl Heinrich Klingert erfand 1797 diesen ersten Kompressor für Tauchflaschen.

[11] Jung, Michael: *Tauchgeschichtekompendium Karl Heinrich Klingert*. Merzig, 1998

verdichten. Allerdings musste dafür 1,5 Stunden lang von Hand mit der Kurbel gepumpt werden! Zwei einfache Drehscheiben zählten jeden Kolbenhub und gaben dem Bediener so einen Hinweis, wie lange er noch pumpen musste.

Eine ähnliche Konstruktion stammt von dem Engländer William Henry James aus dem Jahr 1825. Auch er sah einen offenen Taucherhelm vor, der Atemluftbehälter war wie ein Gürtel um seinen Körper gewunden. James rechnete fälschlicherweise, daß der Luftvorrat für 1 Stunde Tauchen ausreichen sollte. Der untere Teil des Gürtels war mit Ballastschrott gefüllt, der im Notfall abgeworfen werden konnte, um einen schnelleren Aufstieg des Tauchers zu ermöglichen. Ein kurzer Schlauch mit einem Ventil verband den Luftbehälter mit dem Taucherhelm. Am Helm befand sich ein Frontfenster sowie ein Luftablaßventil. Der Helm „aus dünnem Kupfer oder dickem Schuhleder" wurde über eine lederne, wasserdichte, bis unter die Hüfte reichende Jacke gestülpt, die an den Armen mit elastischen Bandagen abgedichtet war. Zwei Schulterriemen, an denen der Luftbehälter befestigt war, hielten den Helm sicher auf den Schulter des Tauchers. Gewichte und schwere Stiefel komplettierten die Ausrüstung. Zum Atmen mußte der Taucher kurz das Ventil am Luftzuführungsschlauch öffnen. Dadurch strömte Frischluft in den Helm und der Taucher atmete die Luft aus dem Helm ein. Beim Ausatmen sollte der Taucher wie bei Klingert die verbrauchte Luft mit dem Mund in ein kurzes Rohr blasen, das mit dem Luftablaßventil am Helmfirst verbunden war.

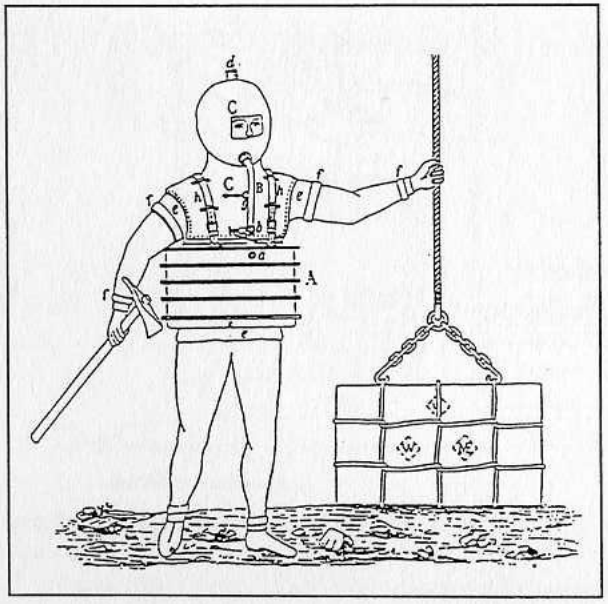


Abbildung 14:
Das Tauchgerät von William Henry James, 1825, mit offenem Taucherhelm und Behältergürtel für 30 bar Druckluft.

Es ist leider nicht bekannt, ob dieses Gerät von James tatsächlich hergestellt und getestet wurde. Der Erfinder sah diesen Apparat nicht nur für Taucheinsätze vor. In seiner Patentbeschreibung führt er an, daß entweder der ganze Anzug oder ein Teil ohne Ballast in Kohlegruben oder sonstigen Orten mit schlechten Atemgasen benutzt werden kann.

Bei den obigen Tauchgeräten wurde die Angleichung der Atemluft an den Umgebungsdruck nach dem Vorbild der Taucherglocke an der Grenzfläche von Wasser und Luft realisiert. Vom 17. Jahrhundert an lösten eine ganze Anzahl von Erfindern das Problem des Atmens unter Umgebungsdruck aber auch mit Hilfe eines zwischengeschalteten, elastischen Puffersackes: Sie benutzten zur Druckangleichung eine Schweinsblase oder einen luftdichten, kautschukbeschichteten Tuchsack. Ein Beispiel für ein solches Gerät ist der „pneumatorische Apparat" des französischen Zahnarztes Lemaire d'Augerville aus Paris, von dem 6 Exemplare von der französischen Marine in den Jahren 1828 und 1829 getestet wurden.[12] Er besteht zunächst aus einem blechernen, zusammengenieteten, 1 Meter langen Druckluftbehälter für bis zu 23 bar und damit rund 600 Liter Luft, der auf dem Rücken getragen wird und kontinuierlich durch einen Schlauch eine Blase aus beschichtetem Stoff mit Frischluft versorgt. Sie dient sowohl als Druckangleich-Puffersack als auch Tarierweste und ist vor der Brust mit Gurten befestigt. Ein manuelles Ventil an dem Schlauch läßt nach Bedarf des Tauchers mehr oder weniger Luft in die Brustblase einströmen. Von dieser Blase zweigen zwei Schläuche ab. Einer führt direkt zum Mundstück des Tauchers, und ein zweiter zu der Maske, die Nase und Mund einschliesst. Der Taucher konnte so durch den Mund und die Nase einatmen. Die Maske sollte mit Zahnzement abgedichtet und so an die Gesichtsform des Tauchers angepasst werden. Die ausgeatmete Luft entweicht durch ein Ventil an der Maske. Der Ballast, insgesamt 29 Kilogramm, ist in Form von Bleistücken an der Begurtung befestigt. Ein wasserdichter Kompass komplettierte die Ausrüstung.

Mit dem Gerät sollen 30 Minuten lange Tauchgänge in bis zu 20 Meter Tiefe möglich gewesen sein. D'Augerville schlug vor, daß der Taucher nicht nur auf dem Grund gehen sondern auch frei schwimmen sollte und beschrieb, wie man die entsprechende Tarierung durch ein Ventil an der Blase herstellen konnte. Dies wird aber kaum praktisch durchführbar gewesen sein, denn erstens besaß der Taucher noch keine Flossen und zweitens wog die Ausrüstung insgesamt rund 50 Kilogramm! Trotzdem war es das am weitesten entwickelte und neben der Taucherglocke am meisten praktisch eingesetzte Tauchgerät

[12] Patent F 3766 (Manuskript) und F 6159 (gedruckt).

seiner Zeit. Verschiedenen Berichten zufolge tauchte D'Augerville 1832 mit seinem Gerät unter anderem an dem Wrack des englischen Schiffes *Bellona*.

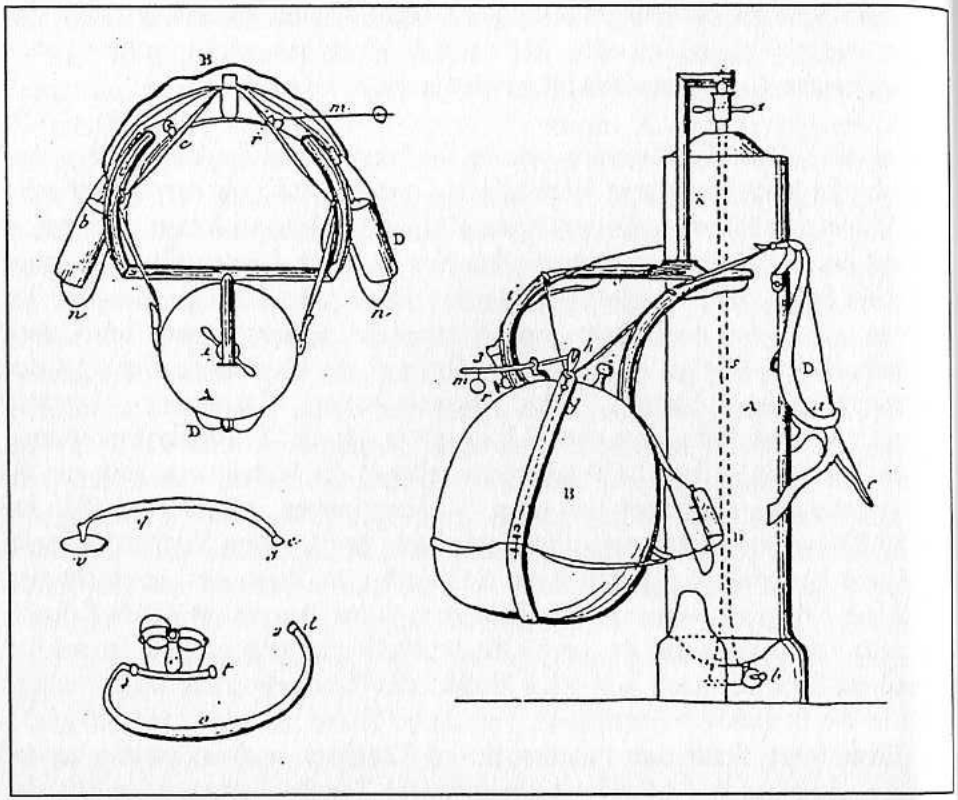


Abbildung 15:
Die Konstruktionszeichnung zum Tauchgerät von Lemaire d'Augerville, 1828. Man erkennt links unten die beiden Atemluftschläuche, einerseits zur Augen/Nasenmaske und andererseits hin zum Mund. (Patent F 6.159).

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts hatte die Tauchtechnik es immerhin geschafft, den Taucher durch mitgenommene Druckluftreserven für kurze Zeit unabhängig von der Oberfläche zu machen. Es verblieben aber noch zwei grundsätzliche Probleme: Zunächst war es das geringe Fassungsvermögen der Druckluftbehälter. Zu dieser Zeit gab es noch keinen Werkstoff und kein Verfahren, mit dem handliche Behälter für einen höheren Druck gefertigt werden konnten. Abgesehen davon gab es auch noch keine Pumpen, welche einen Druck über 30 bar erzeugen konnten. Wollte man also längere Zeit autonom unter Wasser bleiben, so musste man riesige Druckluftbehälter mit auf den

Grund nehmen. Dies beeinträchtigte die Mobilität des Tauchers natürlich wieder gewaltig.

Hinzu kam, das der sowieso schon sehr kostbare und geringe Vorrat an Druckluft nur sehr ineffizient genutzt werden konnte. Es gab noch kein Ventil, welches dem Taucher tatsächlich nur soviel Luft aus seinem Reservoir lieferte, wie er gerade benötigte. Bei den bislang erfundenen Tauchgeräten handelte es sich durchweg um sogenannte „Free-flow"-Geräte, also solche, bei denen ein ununterbrochener Frischluftstrom in den Taucherhelm strömt und dort teilweise geatmet wird. Man bezeichnet diese Art Tauchgeräte auch als Spülgeräte, da der ständige Luftstrom den Helm vom schädlichen Kohlendioxid freispült.

Wollte man den kostbaren Luftvorrat also bestmöglich ausnutzen, musste ein Regler erfunden werden, der dem Taucher nach seinem Bedarf genau dann Luft zuführte, wenn er sie benötigte. Die Entwicklung der Tauchtechnik war zu Beginn des 19. Jahrhunderts an einen Wendepunkt gelangt, denn es fehlte gerade dieser entscheidende Regler zwischen Druckluftvorrat und Taucherlunge. Dieses Bauteil wurde auch recht bald erfunden, allerdings nicht in der Tauchtechnik. Um das Problem zu bewältigen, musste die Tauchtechnik Anleihen machen, und zwar in der Bergbau- und Gaslichttechnik.

Grundkonstruktionen mechanischer Atemhilfen

Bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts hatte die Tauchtechnik in der Praxis nur unwesentliche Fortschritte gemacht. Man verwandte für Unterwasserarbeiten hauptsächlich Taucherglocken und war sich über deren grosse Nachteile wie Immobilität sowie die aufwendigen Begleitumstände für ihren Einsatz durchaus bewusst. Man hatte zwar schon die Idee, Taucher auf dem Meeresgrund durch mitgenommene Atemgasreserven mobiler und unabhängiger zu machen, doch waren zum Umsetzen der Idee von der Theorie in die Praxis noch mehrere Hürden zu überwinden. Einerseits waren die speicherbaren Luftmengen noch zu gering, und andererseits konnte die kostbare Luftreserve aufgrund eines fehlenden, passenden Reglers nicht sparsam und entsprechend dem Umgebungsdruck - eben „bedarfsgesteuert" - genutzt werden.

Die Entwicklung unserer modernen Atmungsgeräte begann im Grubenrettungswesen.[13] Darunter versteht man alle Massnahmen, die es ermöglichen, im untertägigen Grubenbetrieb Arbeiten zur Bergung von Menschen durchzuführen sowie Sachwerte zu erhalten. Für diese Rettungszwecke werden hauptsächlich Gasschutzgeräte und Wiederbelebungsapparate benötigt. Bei Grubenbränden und nach Schlagwetter- und Kohlenstaubexplosionen sind die Gruben mit unatembaren bzw. giftigen Gasen und mit Rauch gefüllt.[14] Sie wirken sich im Untertagebergbau besonders gefährlich aus, weil sie stark konzentriert auftreten und vom Wetterstrom in alle Grubenbaue getragen werden. Dadurch wird ein großer Personenkreis von ihnen erfasst. Den Betroffenen war in der Regel kein Entkommen aus der tödlichen Gefahr möglich.

Für den Bergmann gab es neben dem Grubengas noch eine weitere Gefahrenquelle: Das Grubenwasser. Oftmals wurden Stollen so tief getrieben, dass sie bis weit unter den Grundwasserspiegel reichten und vollzulaufen drohten. Das einsickernde Wasser wurde, soweit möglich, von Pumpen aufgesaugt und wegtransportiert. Brach aber ein Rohr oder trat ein Schaden an der Pumpe auf, lief der Schacht voll und „ersoff". Eine Reparatur an der Pumpe oder an

[13] Siehe dazu: „Das Grubenrettungswesen auf den Gruben an der Saar bis zur Gründung der Hauptrettungsstelle in Friedrichsthal im Jahre 1936" von Ing. (grad.) Karl Heinz Ruth. In: Ring Deutscher Bergingenieure e.V. RDB (Hrsg.): *Bergbau*, 24. Jahrgang, November 1973, S. 259-267 und Dezember 1973, S. 285-296. Serlo, Albert: *Leitfaden zur Bergbaukunde*. Berlin, 1878. Jüngst, Fritz: Die Vorgeschichte der Atmungsapparte im Bergbau. In: *Glückauf*, 45. Jahrg., Nr. 24, 12. Juni 1909, S. 833-844 und 875-891.

[14] Der Begriff „Wetter" ist eine bergmännische Bezeichung von Grubenluft. „Gute Wetter" ist Frischluft im kühlen einziehenden Wetterstrom, „Matte Wetter" ist verbrauchte, sauerstoffarme, erwärmte Luft im ausziehenden Wetterstrom. „Schlagende Wetter" sind explosive Gemische von Grubengasen (Methan u.a.) und Luft.

den Rohrleitungen war ohne spezielle Tauchapparate sehr schwierig und zeitraubend.

Wenn das Drohen solcher Gefahren früh genug bemerkt wurde, konnte man sich noch vor ihnen zurückziehen. War dies aber nicht mehr möglich, so war man ihnen hilflos ausgeliefert. Auch mit beginnender Technisierung des Bergbaues im 19. Jahrhundert konnte der Bergmann nur versuchen, dem verunglückten Kameraden zur Hilfe zu kommen. Der erste Weg zur Hilfeleistung waren Bemühungen, ohne selbst Schaden zu erleiden, zu den Verunglückten zu gelangen und sie aus der tödlichen Gefahr zu retten. Hier musste aber zuerst ein Gerät erfunden werden, das es erlaubte, in allen Gasen atmen zu können.

Die ersten Nachrichten von Schutzvorrichtungen für die Atmungsorgane gegen den schädlichen Einfluß der Grubenatmosphäre stammen aus den Bergwerken am Rammelsberg bei Goßlar. V. Löhneyss berichtet im Jahre 1690, daß die dortigen Bergleute an einzelnen Arbeitspunkten wegen der starken Hitze und der Staubentwicklung Mund, Gesicht und Augen mit großen Blasen und Brillen bedeckten, um gleichzeitig einen Schutz gegen die Hitze und dagegen das Einatmen von Staubteilchen zu haben.[15] Sehr bald darauf, nämlich im Jahre 1709, finden sich weitere Andeutungen eines Schutzes der Atmungsorgane in den „Resolutiones des Königs von Sachsen", die eine gesetzliche Regelung des gesamten Bergwesens für das Freiberger Revier bezweckten.[16]

An eine Ermöglichung der Atmung durch komplettes Abschließen der Atmungsorgane gegen die umgebenden Wetter und Zuführung frischer, unverbrauchter Luft dachte man damals und auch in den nächsten vierzig Jahre noch nicht. Zwar hatte in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts eine Reihe von Gelehrten, meist Naturforscher und Ärzte, die chemischen Forschungen des vorangegangenen Jahrhunderts über den pflanzlichen, tierischen und menschlichen Atmungsprozess aufgenommen. Desgleichen fehlte es nicht an Versuchen, die Ergebnisse der Forschungen im Interesse der Menschheit praktisch zu verwerten: Beispielsweise hat die künstliche Atmung als medizinisches Heilmittel unter Zuhilfenahme von Einatmungsblasen bereits verhältnismäßig früh in die Heilkunde Eingang gefunden. All diese Forschungen mit ihren sich häufig widersprechenden Ergebnissen, alle die infolge der mangelhaften Kenntnis des Atmungsvorganges meist erfolglosen Experimente mit Ertrunkenen, Erstickten und Scheintoten warfen aber kein Licht auf die Ver-

[15] Löhneyss, V.: *Gründlicher und ausführlicher Bericht von Bergwerken*. Leipzig, 1690

[16] *Resolutiones vom 7. Januar wegen Abstell- und Remedierung von Mängeln beim Bergbau im Freyberger Revier*. Dresden, 1709

wertung der künstlichen Atmung für die Zwecke des Bergbaues oder des Tauchens.

Der Naturforscher, der den ersten Grundstein für die Mechanik unserer heutigen Atemgeräte gelegt hat, war der berühmte englische Botaniker Stephan Hales. Er stellte gründliche, wissenschaftliche Versuche über die menschliche Atmung an, zu denen er geführt wurde, als er bei der Erforschung des pflanzlichen Lebens den wesentlichen Einfluss der Atmosphäre auf das Gedeihen der Pflanzen kennenlernte. Zur Erforschung der Luft und ihrer Veränderungen bei der Atmung stellte er eine Vielzahl von Versuchen an und veröffentlichte 1727 deren Ergebnisse.[17]

Naturgemäss zeigten seine Versuche, dem damaligen Stand der Wissenschaft entsprechend, schon in den Anfängen grobe Fehler. Umsomehr ist es aber anzuerkennen, daß er durch eine Reihe empirisch festgestellter Erscheinungen, deren Ursache er nicht zu deuten wusste oder falsch gedeutet hatte, auf Gedanken gebracht wurde, die in den modernen Atem- und Tauchgeräten realisiert wurden.

In seinem Werk „Vegetable Staticks" beschreibt Hales zwei Respirationsversuche in geschlossenen Systemen. Bei dem einem Versuch ist die Verwendung von imprägnierten Atempassier-Diaphragmen beschrieben und durch eine Abbildung illustriert. Das wesentlichste an dem Gerät sind zwei zwangsgesteuerte Einweg-Blasenventile zum Luft-Ein- bzw. Ausatmen, und eine Art Siebtrommel mit vier Salz-imprägnierten, auf Siebrändern aufgespannten Flanellrahmen, die als Atempassier-Diaphragmen dienen und die Ausatemluft reinigen sollten. Als Atemmundstück verwandte er einen einfachen Fasszapfen, in den die zwei Blasenventile luftdicht eingeschlossen waren. Die Nasenöffnungen waren bei den Versuchen mit den Fingern verschlossen.

Um den Nachteil der übelriechenden Blase zu vermeiden, versuchte es Hales auch mit einem grossen Blasebalg, und er fand die dabei gewonnenen Resultate vielversprechend genug, um dieses oder ein ähnliches Instrument zu empfehlen, „wo es nöthig ist, an Oerter zu kommen, die mit erstickenden Dämpfen angefüllt seyn; zum Exempel einen Menschen oder andere Dinge darauf zu retten. Als etwa bei Anfang einer Feuersbrunst; oder im chymischen laboratorio, in Bergwercken; auf Schiffsgefässen, davon ein Theil voll

[17] Hales, Stephan: *Vegetable Staticks*. London, 1727. Französische Ausgabe von Buffon, Paris 1735. Nach der Buffonschen Vorlage erschien 1748 die vom „Cantzler, Reichs-Freyherrn von Wolff" mit einer Vorrede eingeleitete deutsche Übersetzung in Halle. In dem „Physikalischen Wörterbuch" von Gehler, 1785, findet sich ein Bericht über die Arbeiten von Hales. Stephen Hales (1677 bis 1761) war quasi nur im Nebenberuf Naturforscher (und zum Teil auch Mediziner), beruflich war er Theologe, und Pfarrer zu Teddington bei Twikkenham in Middlesex. Seit 1717 Mitglied der Royal Society in London. Auch einen Ventilator zur Luftverbesserung auf Schiffen hat er erfunden und bekanntgemacht.

stinckender Sachen läge etc. Auch für Taucher würde es nach meiner Meinung gut seyn".

Hales beschrieb auch eine andere Respirationsvorrichtung, bei der statt der flexiblen Tierblasen als Luftbehälter Glaskolben verwandt wurden. Hales atmete aus einer luftgefüllten Kugel ein, und in eine wassergefüllte Kugel aus. Worum es Hales bei diesem Experiment ging war zum einen die Frage, ob, und wenn ja, um wieviel Prozent sich die ausgeatmete Luftmenge von der eingeatmeten unterschied, und welche Ausatemwiderstände durch verschieden hohe Wassersäulen entstehen. Ausserdem wollte er hierdurch die Veränderung der Luft nach mehrmaligem Ein- und Ausatmen feststellen.

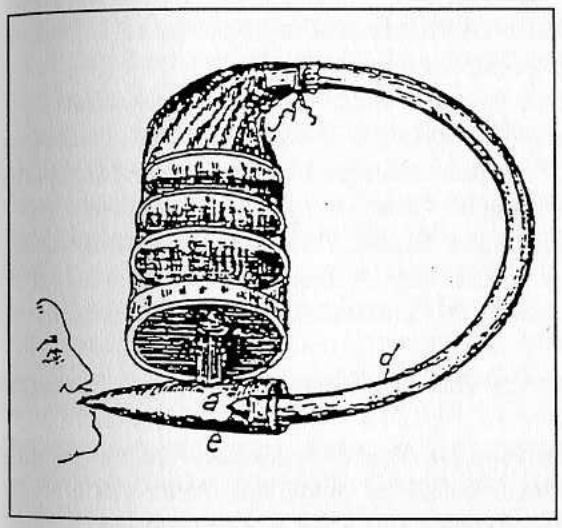


Abbildung 16:
Stephen Hales erfand 1727 ein primitives Kreislaufgerät, das Einwegventile besass.

Hales hatte damit bereits 1727 den ersten primitiven Regenerationsapparat mit Kreislauf der Atmungsluft erfunden. Besonders wichtig und richtungsweisend war aber die Verwendung von Einwegventilen. Er hatte seine Vorschläge allerdings ausser im Versuchslabor nie im praktischen Einsatz erprobt. Als Botaniker wollte er nur anregend wirken, was ihm jedoch erst 70 Jahre später, als Alexander von Humboldt Hales Versuche in grösserem Stil wieder aufnahm, gelungen ist.

Trotz der vielen Forschungen gelangte man erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts zu einer wirklich einheitlichen Anschauung über die chemischen Vorgänge bei der Atmung. Im Jahre 1783 gibt der englische Naturforscher Tiberius Cavallo die Zahl der einigermassen erforschten Gasarten auf zehn an, und er fasst die verschiedensten Gase aufgrund einzelner ähnlicher Eigenschaften unter einem Namen zusammen: Grubengas und Wasserstoff z.B.

sind „entzündbare Luft", Stickstoff, Kohlensäure und eine Reihe von Gasgemischen, welche die Verbrennung nicht unterhalten, sind „fixe Luft".[18]

Der Sauerstoff wurde 1770-1772 von dem aus Deutschland stammenden Carl-Wilhem Scheele entdeckt und 1777 in den „Chemischen Abhandlungen von der Luft und dem Feuer" ausführlich beschrieben. Etwa zur gleichen Zeit wie Scheele stellte der Chemiker Joseph Pristley den Sauerstoff durch Erhitzen von Quecksilberoxid ebenfalls dar; beide Entdeckungen erfolgten unabhängig voneinander. Scheele bezeichnete den Sauerstoff als „Feuerluft", Priestley nannte ihn im Anklang an die damals herrschende Phologistontheorie „dephologistierte Luft". Concordet führte die sehr zutreffende Bezeichnung „Lebensluft" ein und Lavoisier gab ihm den Namen Oxygenium (griechisch für „Säurebildner"), weil er annahm, daß Sauerstoff in allen Säuren enthalten sei und deren charakteristische Eigenschaften besitze.

Hales fundamentalen Versuche bildeten Ende des 18. Jahrhunderts die Grundlage für einige Nachfolger, wie etwa für Robert Menzies, in dessen Dissertation von 1790 man einen Respirationsapparat, der eine Verbesserung des Apparates von Hales darstellt, findet. Diese „Respirationsmaschine" wurde 1795 vom Göttinger Hofrat Girtanner[19] zum „Einatmer" verbessert insbesondere dadurch, dass er Ventile auf schräge Auflageflächen montierte, wodurch sie infolge der eigenen Schwere, bei horizontaler Lage der Ventilröhre, dichtsicherer schlossen.

Die bisherigen, eher theoretischen Vorschläge wurden erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts durch die ernsthaften praktischen Studien Roziers und Humboldts abgelöst. Der französische Physiker Pilatre de Rozier[20] nahm um das Jahr 1785 seinen Weg aus der Praxis heraus. Er wagte sich mehrmals in einen mit Kohlensäure gefüllten Keller, untersuchte so die Wirkung dieser Luftart

[18] Cavallo, Tiberius: *Abhandlung über die Natur und Eigenschaften der Luft*. Leipzig, 1783

[19] Girtanner veröffentlichte diese Konstruktion zuerst *in C. W. Hufelands Journal der praktischen Arzneykunde und Wundarzneykunst*, Bd. I, St. 2, Jena 1795, S. 199 bis 248 bzw. 248 bis 255. Auf S. 396 gibt der Herausgeber Hufeland „aus eigener Erfahrung dem Girtannerschen Instrument das Zeugniß, daß es das beste, bequemste und zweckmäßigste Vehikel zu dieser Methode ist, daß ich kenne und ich sage dem würdigen Erfinder von Herzen Dank dafür." Hieraus berichtet dann J.H. Voigt in seinem *„Magazin für das Neueste aus der Physik und Naturgeschichte"*, Bd. X, 3. Stück, Gotha 1796, S. 90 bis 94.

[20] Pilatre de Rozier nahm schon an den ersten Aufstiegen von Montgolfieren teil. Die Montgolfiere war ein Warmluftballon, von den Brüdern Josef Michel und Jacques-Etienne Montgolfier erfunden. Am 5. Juni 1783 stieg ein solcher Ballon zum ersten Mal auf. Rozier verstarb 1785 beim Absturz seines Ballons. Zu Roziers Atemgerät siehe: *Journal de Physique*, Tom. XXVIII. S. 426. Vergleiche auch *Macquer's chemisches Wörterbuch*, 2. Ausgabe, Band 2, S. 736.

auf seinen Körper, zog seine Folgerungen daraus und erfand dann einen Apparat, den er sofort praktisch erprobte.[21]

Rozier hatte bei seinen Versuchen, ohne Hilfsmittel in den Keller zu steigen, üble Erfahrungen gemacht. Ohrenbrausen und Atembeklemmung bis zur Betäubung liessen ihn bald die frische Luft wieder aufsuchen. Da er sich hier schnell erholte, schloß er daraus, daß die Kohlensäure an sich unschädlich sei, daß es aber nicht möglich sei, sie in die Lunge einzuatmen. Er sah daher Luftmangel in der Lunge als einzigen Erstickungsgrund an. Diese zwar einfache, aber falsche Erklärung brachte ihn auf den Gedanken, sich bei dem Betreten der mit Kohlensäure gefüllten Räume durch einen Schlauch mit der atmosphärischen Luft in Verbindung zu halten.

Zunächst nahm er in einem Keller das Ende einer einfachen Röhre, die bis zur freien Luft reichte, in den Mund und versuchte, bei geschlossener Nase durch das Rohr ein- und auszuatmen. Da das Rohr senkrecht nach oben geführt war, füllte es sich durch die Pendelatmung sehr bald mit verbrauchter Luft und versagte. Den Grund des Übels erkennend, versuchte er nun, durch das Rohr ein- und durch die Nase auszuatmen. Er scheiterte aber an der physiologischen Unmöglichkeit, den gleichzeitigen Zutritt der Luft durch Mund und Nase bei der Einatmung zu verhindern.

Offenbar kannte Rozier die Ventilatmung von Hales nicht; denn diese hätte ihm einen gangbaren Ausweg gezeigt. Ihm blieb jetzt nichts anderes übrig, als durch die Nase ein- und durch den Mund auszuatmen. Der Appart, dessen er sich hierzu bediente, und den sein Nachfolger auf dem Gebiet, der spätere Advokat am Parlament, Francois Henry Stanislas de l'Aulnaye,[22] 1786 als „antimephistischer Respirator" bezeichnet hat, ist in der dazugehörigen Abbildung dargestellt. Sie zeigt den ursprünglichen Nasenatmer Pilatre de Roziers, der mittels der gefirnesten und mit einer Messingdrahtspirale versteiften Taftröhre atmosphärische Luft durch die Nase einzuatmen gestattet. Die Ausatmung erfolgte in das irrespirable Gasmedium hinein durch den geöffneten Mund. D. Macquart, der von der Société royale de médécine beauftragt

[21] De l'Aulnaye: *Description et Usage du Respirateur Antiméphitique, imaginé par Feu M. Pilatre de Rozier; Avec un Précise des Expériences faites par ce Physicien, sur le méphitisme de fosses d'aisance, des cuves à biere, & c. Par M. de l'Aulnaye*. Paris, 1786. Nach dieser Broschüre wurde in den „Observations sur la Physique, sur l'Histoire naturelle, et sur Arts, Par Abbé Rozier, Mongez & De la Metherie," Paris 1786, Bd. I, S. 418 bis 429, ein völliger Auszug gegeben, woraus dann Voigt in seinem *„Magazin für das Neueste aus der Physik und Naturkunde"*, Band IV, 2. Stück, Gotha 1787, S. 79 bis 92, eine Übersetzung für das deutsche Lesepublikum lieferte. Siehe auch: *Annales des mines*, 1. Sér. Bd. X.

[22] Nach Poggendorffs *Biogr.-litt.-Handwörterbuch*, Bd. I, Leipzig 1863, Sp. 76, lebte er von 1739 bis 1830, wurde 1789 Parlamentsadvokat, später, nach Verlust seines gesamten, beträchtlichen Vermögens, Literat; er starb im Hospiz St. Perrine.

wurde, Roziers Versuche über die Wirksamkeit seines Apparates zu prüfen, konnte die primitive Vorrichtung nicht genug rühmen.[23]

L'Aulnaye erkannte aber doch die Hauptmängel des ventillosen Nasenatmers von Rozier: Die Unbequemlichkeit der Nasenatmung, die Gefahr des Mundöffnens zur falschen Zeit und die Möglichkeit der Verstopfung des Atmungsrohres durch die Feuchtigkeit der Nase liessen ihn unpraktikabel erscheinen. Die Nasenmaske konnte auch nur angewandt werden, wenn man in geringer Entfernung von der frischen Luft eindrang, denn dem Wachstaftschlauch konnte man keine bedeutende Länge geben, ohne befürchten zu müssen, daß er zerriss oder sich in Falten legte und so in beiden Fällen aufhörte, seinen Zweck zu erfüllen.[24]

Er änderte daher den Apparat durch Einschalten von zwei Ventilen: Das Atmungsrohr endet in einer Muschel, die dem Mund genau angepasst ist. Es enthält das Einatmungsventil - ein Klappenventil - das sich um 30 Grad in Mundrichtung öffnen kann und beim Schliessen gegen einen Messingring schlägt. Das Ausatmungsventil wird durch eine kleine Anpressfeder, deren Druck bei dem Ausstossen der Luft zu überwinden ist und dem Exspirationsdruck gerade schwach standhalten kann, geschlossen gehalten. Bei l'Aulnaye finden wir also die erste Anwendung eines federbelasteten Ventils als Konstruktionselement bei Atmungsapparaten! Die Muschel wird durch eine, den ganzen Kopf umschliessende Maske eingefasst. Dies Nase ist durch eine Klemme verschlossen. Da l'Aulnaye auch eine schädliche Einwirkung einzelner Gasarten durch die Schweißporen der Haut annimmt, empfiehlt er, den Respirator durch einen dichten Schutzanzug und eine den ganzen Kopf bedekkende Maske mit Augengläsern, welche das Nasenfutteral umschließt, zu vervollständigen.

Bei l'Aulnaye wird der Ausdruck „Masque" für eine Respirationsvorrichtung erstmals gebraucht. Seine Maske hatte zwei Augengläser. Der Kopf sollte mit einer Kapuze bedeckt sein, während der übrige Körper in einem, mit Gummilösung überzogenen, am Halse zuzuschnürenden Anzug aus Leinwand steckte. Der Maskenanzug war von l'Aulnaye nur für die Anwendung in Gruben mit schädlichen, auf die Haut einwirkenden Gasen gedacht, während sonst nur die Gesichtsmaske allein zu benutzen war.

Etwa 10 Jahre später, aber unabhängig von Rozier und l'Aulnaye, begannen die Arbeiten des grossen Naturforschers Friedrich Alexander von Humboldt. 1792 wurde er Oberbergmeister von Bayreuth und Ansbach und begann 1793 mit der Erforschung der Matten Wetter. Seine Tätigkeit im fränkischen Bergbau hatte ihn mit den Gefahren bekannt gemacht, denen der Bergmann unter Tage ausgesetzt war.

Eine der heimtückischsten war nach wie vor der Erstickungstod, der vielerorts in den sauerstoffarmen oder gar giftigen Wettern abgelegener Grubenschächte lauerte. Die Frischluftzufuhr in die Grube war um 1800 noch ebenso schlecht wie zu Beginn des Tiefbergbaues um 1550. Die wenigen primitiven Hilfsmittel arbeiteten unwirtschaftlich und unzuverlässig. Neue Konstruktionen waren aus Unkenntnis der chemischen und physikalischen Verhältnisse unter Tage und mehr noch aus Interessenlosigkeit der besitzenden Klassen gegenüber Untersuchungen, die statt höheren Gewinns „nur" größere Sicherheit für die Bergarbeiter zum Gegenstand hatten, nicht zu erwarten.

Humboldt suchte nach Mitteln, um den Aufenthalt der Bergleute in Matten Wettern und die Rettung von Verunglückten aus tödlichen Gasen zu ermöglichen. Er erfand zunächt eine Lampe, die den zum Brennen notwendigen Sauerstoff aus einem Lampenreservoir erhielt. Sie war also vollkommen von der sie umgebenden Athmosphäre unabhängig. Er verbesserte die Lampe mehrmals. 1798 konnte er den Bergleuten fünf verschiedene Lampentypen vorstellen.[25]

Diese lichterhaltenden Lampen ergänzte er 1796 durch eine „Atemmaschine", einen transportablen Luftbehälter mit Schlauch und Atemmaske, um bei Erkundungen oder Rettungsarbeiten ungefährdet auch in giftigen Gasen arbeiten zu können. Humboldt übernahm die von Girtanner zum ersten Mal angewandte Klappen-Ventillagerung, die er allerdings auf 40 Grad abänderte. Er hatte als einer der ersten die Idee der Luftvorratsbehälter, welche er aus Wachstaft oder Tierblasen anfertigen ließ. Der Mensch sollte den Luftbehälter auf dem Rücken in Form eines Sackes tragen, oder auf einem separaten kleinen Wagen in Gestalt eines Gasometers mit sich fortbewegen. Von der Anwendung des reinen Sauerstoffs glaubte Humboldt aus physiologischen Erfahrungen Abstand nehmen zu müssen. Interessant ist, daß Humboldt sein Atmungsgerät zwar mehrmals erwähnte, aber es nur einmal, und zwar in seinem Buch von 1799, abbildete. Die Beschreibungen vorher hatte er aus Furcht vor Nachbauten ohne Abbildungen gelassen.

Bei der Humboldtschen Atem-Halbmaske erfolgte das Einatmen mit dem Mund durch das Saugrohr, während das Ausatmen mittels Pendelatmung über eine spezielle Klappe in die irrespirable Atmosphäre erfolgte. Zum Augen-

[23] Siehe: *Journal des Mines*, 1797, Nr. 14, S. 6-7. Macquart, Behandlung Erstickter, in *Journal des Mines*, Bd. III, S. 146

[24] Brard, C.P.: *Grundriss der Bergbaukunde*, aus dem Französischen übertragen von Dr. Carl, Friedrich, Alexander Hartmann, Berlin 1830

[25] v. Humboldt, Friedrich Alexander: *Über die unterirdischen Gasarten und die Mittel ihren Nachteil zu vermindern*. Braunschweig, 1799. Alexander von Humboldt, seine Bedeutung für den Bergbau und die Naturforschung, herausgegeben zum 100. Todestag in den *Freiberger Forschungshefte*, Nr. 33, Berlin 1960, Seite 141

schutz war von Humboldt auch eine Vollmaske vorgesehen. Humboldts Ge-
sichtsmaske hatte Augengläser, war konvex vom Gesicht abstehend und aus
Eisenblech gefertigt. „Deren abentheuerliche Gestalt," meint Humboldt, „wird
bey ernsthaften Menschen wohl keine Einwendung gegen ihren Nutzen seyn."

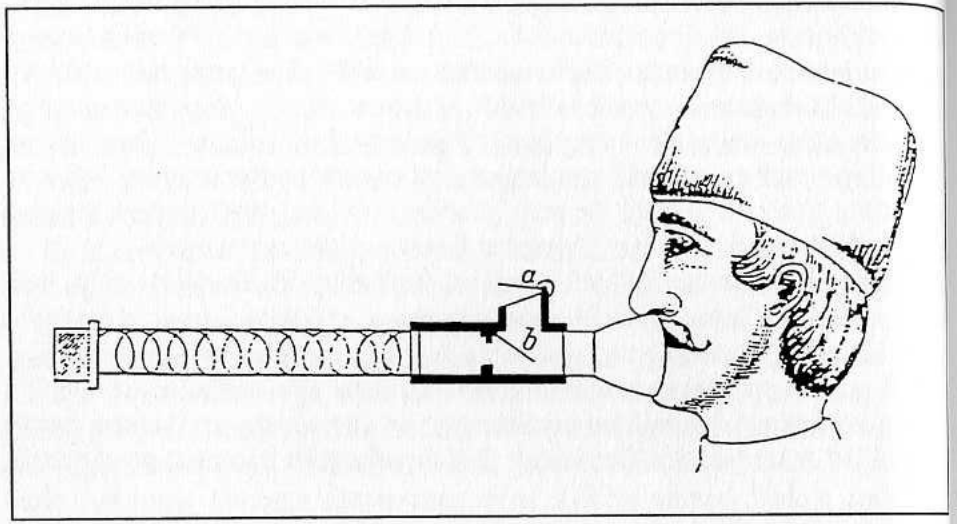


Abbildung 17:
*Alexander von Humboldt veröffentlichte 1796 diese Konstruktion mit langem Saug-
rohr, bei der zwei Klappenventile das Ein- und Ausatmen steuerten. Das Ausatem-
ventil (a) besitzt eine Gegendruckfeder.*

Der große Vorteil dieses Gerätes war die Möglichkeit, mit dem ange-
schlossenen Vorratsbehälter etwas tiefer in die Stollen einzudringen, als man
es vorher mit Saugrohratemgeräten konnte. Der tragbare Behälter enthielt
etwa 0,25 qm Luft, wurde auf dem Rücken getragen und reichte für etwa 10
bis 15 Minuten. Ein fahrbarer Behälter enthielt sogar 1 qm Luft und erlaubte
einen entsprechend längeren Aufenthalt. Die Vorratsbehälter wurden mit ei-
nem Blasebalg gefüllt. Humboldts Atmungsgerät konnte aber auch ohne Re-
servoirbehälter benutzt werden. Dann musste das Ansaugende des Schlauches
in den Frischen Wettern liegen.

Hier ist noch festzuhalten, dass Alexander von Humboldt also nicht, wie
oft fälschlich dargestellt, der erste Erfinder und Konstrukteur eines mechani-
schen Atmungsgerätes war. Vor ihm hatten es schon 1727 Stephan Hales,
1785 Pilatre de Rozier, 1786 de L'Aulnaye, 1790 Robert Menzies und 179[illegible]

Hofrat Girtanner versucht.[26] Humboldts Beitrag war vor allem die ausgiebige
praktische Erprobung seiner Vorschläge. Keines der Geräte von Humboldts
Vorgänger war weit über das Versuchsstadium hinausgekommen. Humboldt
ließ jedoch eine Anzahl seiner Geräte bauen und in den verschiedensten Berg-
baurevieren erproben. Ihre Konstruktion fand allgemein Anerkennung; ange-
wandt wurden sie trotzdem nur vereinzelt, weil ihr Gebrauch doch noch etwas
umständlich war, aber vor allem weil die wenigsten Grubenbesitzer daran
dachten, für eine solche Sache Geld auszugeben. Erst die grossen Grubenun-
glücke des 19. Jahrhunderts in Verbindung mit dem wachsenden Klassenbe-
wusstsein der Arbeiter veranlassten die Bergwerkseigentümer, mehr für die
Sicherheit der Bergleute zu tun, um deren wachsende Unruhe zu dämpfen.

Das lebhafte Interesse der deutschen Bergleute, das Humboldt während der
Ausarbeitung seiner Gedanken fand und durch stetigen Kontakt mit einer
Reihe von namhaften Bergleuten wachzuhalten wusste, ließ sehr bald nach,
als er der Praxis den Rücken kehrte und sich den reinen Naturwissenschaften
zuwandte. Vor allem in den Bergbauregionen Frankreichs wurden die Erfin-
dungen Roziers und Humboldts mit mehr Interesse verfolgt, und die bald ein-
setzenden Bestrebungen zu Vervollkommnung des Rettungswesens fanden bei
den Behörden weitgehende Unterstützung.

Schon im Jahre 1798 erließ der Conseil des Mines de la République[27] eine
ausführliche Instruktion über Wiederbelebungsmittel und Vorkehrungen zum
Eindringen in unatembare Gase, und mehrere Veröffentlichungen der nächsten
Jahre geben vom erwachendem Interesse Zeugnis. Allerdings scheint die Be-
wegung dann auch in Frankreich eine Zeitlang zum Stillstand gekommen zu
sein.

Basierend auf diesen ersten, einfachen Atemgeräte-Konstruktionen des
ausgehenden 18. Jahrhunderts wurden im beginnenden 19. Jahrhundert von
den verschiedensten Erfindern Hilfsmittel für Bergwerke und Feuerwehren
gebaut, und es würde hier zu weit gehen, auf alle einzugehen. Es entstanden
die verschiedensten Bauversionen für Rauchschutzhauben und Grubenatmungsgeräten. Die Saugrohratemgeräte erwiesen sich bereits bald für den
Einsatz unter Tage als vollkommen ungeeignet. Die geringste Undichtigkeit
konnte schon für den Benutzer tödlich wirken, weil er auch durch diese Un-
dichtigkeit Umluft, also auch unatembare Luft oder giftige Gase, ansaugen
konnte. Ausserdem war ihr Aktionsradius sehr begrenzt. Sie wurden deshalb
nur vereinzelt und dann nur aus Mangel eines anderen Gerätes eingesetzt.

[26] Dr. Speter, Max: Respirationsapparate von Hales bis Humboldt. In: *Drägerheft* Nr. 166,
Lübeck März/Mai 1933, S. 2284-2290
[27] Macquart: *Journal des Mines*, 1798, Nr. 13

Weit besser geeignet erwiesen sich die Druckluftgeräte. Es liegt aber auf der Hand, dass die vorhandene Technik der Klappenventile nur bei Saugrohratemgeräten richtig funktionieren kann, nicht aber bei Druckgeräten. Der Mangel an einem geeigneten Mechanismus bzw. Regulator offenbarte sich dabei sehr schnell. Von eben diesem Mangel wurde auch die Weiterentwicklung der Tauchtechnik gehemmt.

Der weitere Weg der Atemgeräte für Bergbau und Taucherei war also vorgezeichnet: Es mussten Druckluftgeräte erfunden werden, welche spezielle Regulatoren besassen, mit deren Hilfe der Atemluftzustrom richtig dosiert werden konnte. Einzelne Konstruktionselemente und Grundkonzeptionen waren bereits vorhanden, was aber noch fehlte, war der entscheidende Durchbruch. Dieser gelang in der Gaslichttechnik.[28]

Die Anfänge der Gaslichttechnik liegen schon ebenso lange zurück wie die des Tauchens. Die Chinesen beispielsweise wussten schon vor vielen Jahrhunderten von der Möglichkeit, Steinkohlengas zu Beleuchtungszwecken einzusetzen. Man fand bei Ausgrabungen Rohrleitungen aus Bambus, mit deren Hilfe sie bereits um das Jahr 200 ihre Wohnungen mit Steinkohlengas versorgten. Johann Becher erwähnte 1682 in seinem „Chemischen Glücks-Hafen oder Grosse Chymische Concordantz" die Brennbarkeit von Steinkohlengas. Der belgische Apotheker Jan Pieter Minckelaers stellte 1783 in grösserem Umfang aus Steinkohle erzeugtes Gas zu Beleuchtungszwecken und technischen Zwecken her und begründete damit die Industrie des Leuchtgases. Er berichtete 1784 darüber in seinem „Mémoire sur l'air inflammable". 1785 erleuchtete er damit seinen Hörsaal in Löwen. Aber man verwandte nicht nur Steinkohlengas zur Beleuchtung, sondern schon früh auch Gas, welches aus Holz und Öl bereitet wurde, wie etwa 1786 von Phillipe Lebon d'Hambersin.[29]

Vor allem in England war man sehr daran interessiert, das russende und flackernde Petroleumlicht abzuschaffen und gegen das hellere, weniger russende und preiswertere Gaslicht einzutauschen. Deshalb erlebte dort mit Beginn der industriellen Revolution auch die Gaslichtindustrie einen besonders rasanten Aufschwung. Hier war es zunächst der schottische Ingenieur William Murdock (vormals Murdoch), welcher unabhängig von Lebon ähnliche Experimente machte, und bereits 1792 das Steinkohlengas zur Beleuchtung seines Hauses und der Werkstätte zu Redruth in Cornwall verwandte.

[28] Siehe: Williams, Trevor I.: *A History of the British Gas Industry*. Oxford, 1981; sowie *Mechanics Magazine*, Nr. 231, S. 445 ff.

[29] Dies bildete die Grundlage für die Holzgasautos des Zweiten Weltkrieges.

Die Minen, aus denen Murdock sein Gas entnahm, lagen einige Meilen von seinem Haus entfernt. So füllte sich Murdock jedesmal für den abendlichen Heimweg einige grosse Blasen mit Gas und brachte an sie eine kleine Düse an, wo er an dem ausströmenden Gas eine Flamme entzünden konnte. Er klemmte sich diese Blase unter den Arm, und durch den ständigen Druck strömte das Leuchtgas durch die Düse. Mit dieser hellen Gasfackel beleuchtete er seinen Heimweg von den Minen bis zu seinem Haus. Da diese Methode damals vollkommen unbekannt war und man nur Kerzen oder kleine, transportable Öllichter kannte, sprachen die Einwohner des Ortes von dem hellen, wandernden Feuerschein im dunklen Wald von Magie und Hexerei. Murdock war 1792 auch der erste, der komprimiertes Gas für zukünftige Verwendung in speziellen Behältern speicherte.[30]

1819 patentierten D. Gordon und E. Heard einen Prozess, um Ölgas in Zylindern auf 6 bis 10 bar zu komprimierern, damit es problemlos weitertransportiert und an die Endverbraucher verkauft werden kann. Dies führte um 1825 zu der kurzlebigen „Portable Gas Company".[31] Dieses komprimierte Gas wurde vor allem dafür verwandt, um Positionslichter auf Schiffen oder in Schwimmbojen zu versorgen.

1810 bestätigte das englische Parlament die von Frederick Winsor zusammengebrachte erste Gasbeleuchtungsgesellschaft für London, die „Chartered Gaslight and Coke Company", oftmals auch als „Chartered Company" bezeichnet. Sie erhielt das königliche Privileg am 30. April 1812, und dieser Tag markiert gleichzeitig den Beginn der Gaslichtindustrie in England.

Obwohl Mühlen, Schulen und andere grössere Einrichtungen eigene Gaslichtinstallationen und Gasspeicher besassen, lag die Zukunft doch in der zentralen Versorgung der breiten Öffentlichkeit mit Kohlengas. Und so wurden ab 1812 die verschiedenen Ortschaften Englands mit einer Leuchtgasversorgung ausgestattet. 1815 waren in London bereits rund 100 Kilometer Gasleitungen verlegt. Um die Belastungen der Rohrleitungen und die Verluste bei einer Undichtigkeit gering zu halten, wurden natürlich auch hier spezielle Druckreduzierventile und Regler benötigt. Ausserdem musste ein konstanter Gaszustrom sichergestellt werden, damit die Flamme ruhig brannte und nicht flackerte oder erlosch. Nur unter einem gewissen Druck des Leuchtgases wird die maximale Lichtentwicklung erreicht.

Samuel Clegg, bis 1805 Assistent von Murdock und anschließend Ingenieur der „Chartered Co.", erfand 1817 einen einfachen Gasdruckregulator (Stadtdruckregler), durch den der Abgabedruck, und die Menge des abgege-

[30] Murdock, Wiliams: An Account of the Application of the Gas from Coal for Economical Purposes. In: *Philosophical Transaction* of the Royal Society, Pt. 1, 1808, S. 124-132

[31] Copcutt, T.: *Cottage Gas Works, etc., and Portable Gas*. 1860

benen Gases, dem Verbrauch entsprechend reguliert wird. Es handelte sich dabei um eine einfache Glocke, die umgestülpt im Wasser steht. Im Zentrum der Glocke befindet sich ein konischer Stift, der je nach der Position der Glocke mehr oder weniger Gas durch die Düse strömen lässt. Nimmt durch starken Gasverbrauch das Volumen des Gases in der Glocke ab, senkt sie sich, und das Ventil wird mehr geöffnet - es strömt also Gas in das Reservoir unter die Glocke nach, und es ist ein gleichmäßiger Gasstrom und -druck zum Verbraucher sichergestellt. Der Druck ist einstellbar durch einen Seilzug, der mit verschiedenen Gegengewichten belastet wird und so mehr oder weniger Glockengewicht abfängt. Diese primitive Reglerkonstruktion mit konischem Ventil von 1817 war richtungsweisend für alle nachfolgenden Gasregler.

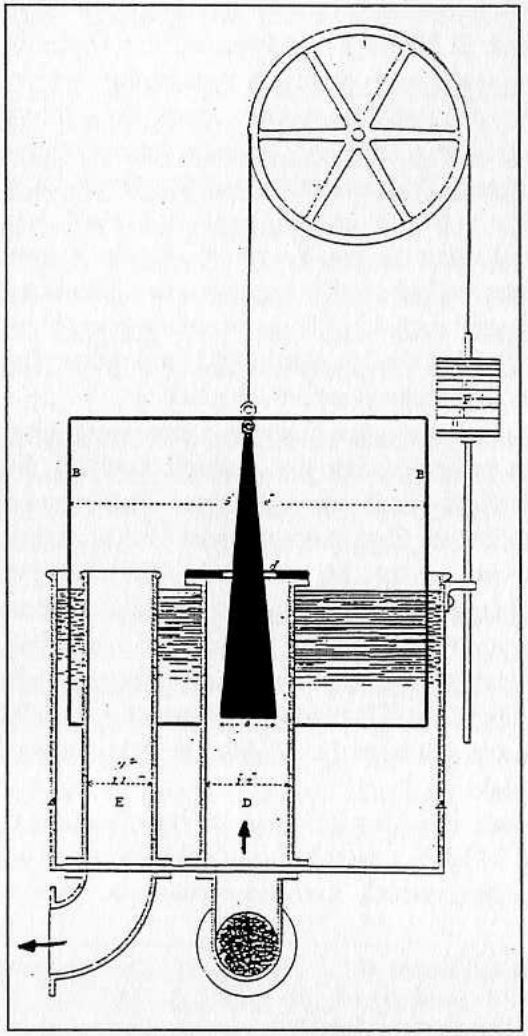


Abbildung 18:
Der Stadtleuchtgas-Druckregler von Samuel Clegg, 1817, arbeitete mit variablem Düsenquerschnitt und gab die Gasmenge bedarfsgesteuert ab.

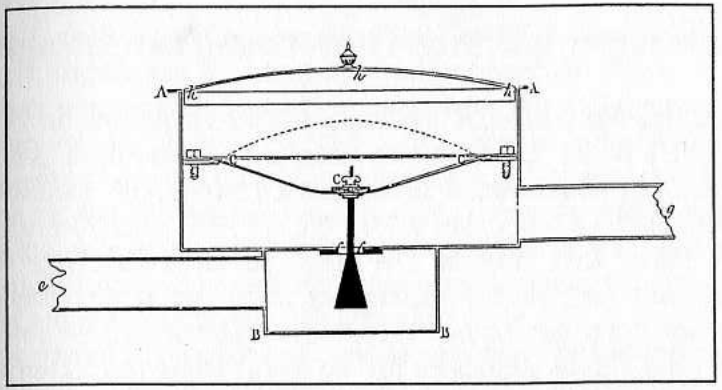


Abbildung 19:
Samuel Crosley baute 1825 den ersten handlichen, bedarfsgesteuerten Leuchtgasdruckregler mit Membrane nach dem Wirkprinzip von Samuel Clegg.

Bestimmend für die endgültige Konstruktion von kleineren Gasdruckreglern wurde aber ein anderer: Samuel Crosley aus London konstruierte 1824 zunächst einen selbstregistrierenden Gasdruckmesser, der die Veränderungen des Gasdruckes, wie sie im Laufe des Tages stattfinden, fortlaufend in Kurven selbsttätig auf Papier verzeichnet. 1825 patentierte Crosley eine „Verbesserung in der Konstruktion von Gasregulatoren", um einen gleichmäßigeren Zustrom des Gases zum Brenner zu ermöglichen. Dabei handelte es sich um einen membrangesteuerten Regler, der unseren heutigen bereits sehr nahe kam. Er bestand aus einer flexiblen Membrane in einem runden Gehäuse, welche sich auf und ab bewegen konnte. Dadurch bewegte sie ein Stiftventil, welches ähnlich wie bei Clegg konisch war und verschieden grosse Gasmengen durch die Düse strömen lies. Die Membrane wird durch kleine Gewichtsscheiben vorgespannt, so dass das Ventil im Ruhezustand schwach geöffnet ist. Wurde dann der Brenner entzündet und hochgedreht, senkte sich durch die Sogwirkung der Brennerdüse (Injektorprinzip) die Membrane entsprechend und es konnte mehr Gas durch das Ventil strömen. Wollte man, dass der Brenner schwächer brennt, drehte man das Handventil zu, die Sogwirkung lies nach und die Membrane hob sich wieder.

Nach diesen Erfindungen des frühen 19. Jahrhunderts lagen also spätestens 1825 wesentliche Konstruktionselemente des bedarfgesteuerten Atemreglers wie federbelastete, konische Ventile und undurchlässige Membranen vor. Nun ging es darum, die Gasdruckregler für den Einsatz in Atemgeräten umzufunktionieren, denn prinzipiell gleichen sich beide Anwendungsarten: Ob als Endverbraucher ein Gaslicht oder eine menschliche Lunge eingesetzt wird, ist von sekundärer Bedeutung.

Gasdruckregler und ihre Verwendung bei Atemgeräten

Der zunehmende Gebrauch von Reglern in der Gastechnik hat eine bedeutsame Parallele in der Tauchtechnik: Auch hier erfolgte die Umstellung von Atemgeräten mit kontinuierlich fließendem Luftstrom, die dadurch natürlich sehr unwirtschaftlich waren, auf solche, die mit Hilfe eines speziellen Reglers nur nach Bedarf Luft lieferten. Die entsprechende Technologie war in der Gastechnik seit etwa 1817 vorhanden, es fehlte nur noch jemand, der ihre Übertragbarkeit auf den Unterwassereinsatz erkannte und die entsprechende Adaption eines Gaslampenreglers für die Verwendung beim Tauchen durchführen konnte.

Dies geschah bereits wenige Jahre später, genauer 1826/1827. Damals wurde dem Franzosen Jean-Jeremie Pouilliot aus Paris am 29. Dezember 1826 ein Patent für einen Gasdruckregler zugeteilt, der zunächst für die Verwendung in Dampfmaschinen vorgesehen war.[32] Am 24. August 1827 wurde dieses Patent durch einen Nachtrag erweitert, wodurch der Regler in Verbindung mit einem autonomen Tauchgerät auch unter Wasser eingesetzt werden konnte. Es scheint so, als habe Pouilliot in den dazwischenliegenden Monaten den Regler gebaut, eingesetzt und dabei diese weitere Verwendung erkannt. Er schien einen großen Weitblick besessen zu haben, denn der Mechanismus war zwar primitiv, aber er beschrieb in seinem Zusatzpatent von 1827 den ältesten, bislang bekannten Entwurf für einen bedarfsgesteuerten Atemregler in Verbindung mit einem autonomen Tauchgerät.

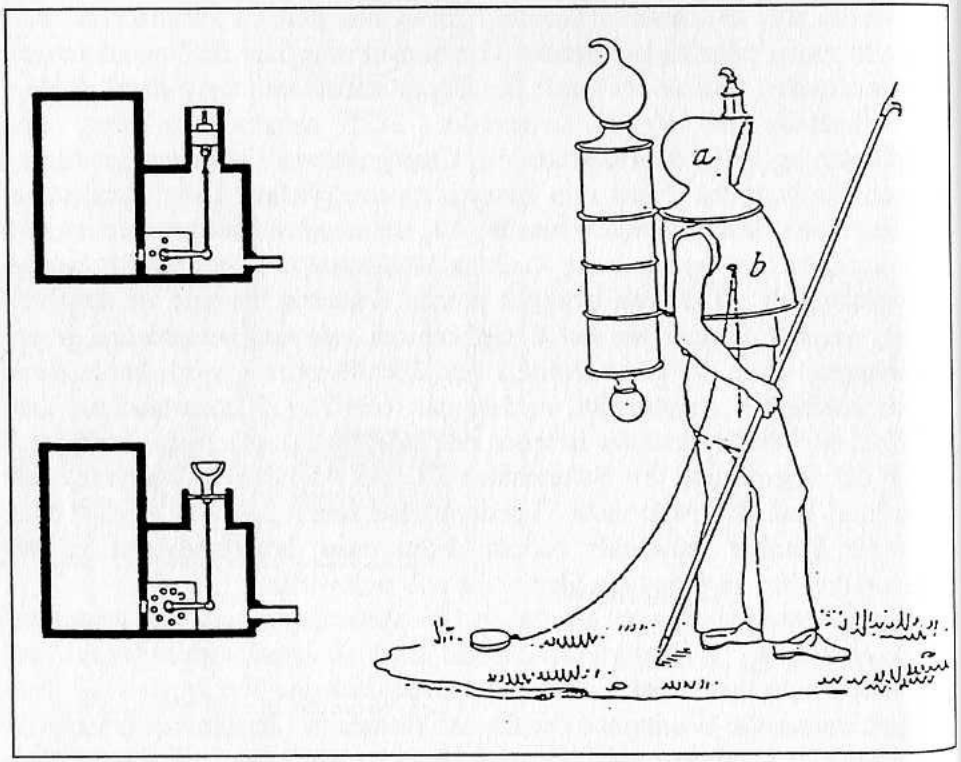


Abbildung 20:
Die beiden Atemregler und das Tauchgerät von Jean-Jeremie Pouilliot, 1827.

Pouilliot scheint die Verhältnisse und technischen Einrichtungen der Gaslampenversorgung einer Stadt einfach unter Wasser verlegt zu haben. Er entwarf zunächst ein Unterwasserhaus, das durch Sandsackballast ganz versenkt werden konnte. In seinen weiteren Ausführungen beschrieb er ein autonomes Tauchgerät, mit dessen Hilfe Arbeiter das Haus längere Zeit verlassen konnten. Bei diesem autonomen Tauchgerät trägt der Taucher einen Helm, der vorne ein Visier mit einer dicken, runden Kristallglasplatte besitzt, die mit Kitt abgedichtet ist und ähnlich wie ein Bullauge dem Taucher den Blick nach draußen ermöglicht. Der Helm ist an seiner Öffnung aufgeweitet, so daß er die Schultern mit aufnimmt. Befestigt wurde er durch eine wasserdichte Verbindung an einem Harnisch, der den Brustkasten umgibt. Pouilliot schreibt, man könne zwar in dem Harnisch durch eine doppelte Wandung einen Hohlraum schaffen um die Druckluft zu speichern, findet es aber besser, wenn der Taucher einen seperaten Tank auf dem Rücken trägt. Der wichtige Atemregler wurde oben auf dem Tank montiert und war durch ein Rohr mit dem Innenraum des Harnisches verbunden.

Pouilliot beschrieb zwei Reglervarianten für den Unterwassergebrauch. Der erste Regler war ein Kolbentyp. Der Wasserdruck drückt hierbei den Kolben nach unten, und über einen Hebelmechanismus wird ein Ventil geöffnet. Die Druckluft kann nun solange aus dem Tank in die Atemkammer strömen, bis der Druck dort dem Umgebungsdruck angeglichen war, dann schloß das Ventil. Es ist offensichtlich, daß dieser Kolbenregler wohl kein besonders empfindliches Ansprechverhalten hatte. Pouilliot beschrieb deshalb ein weiteres, verbessertes und empfindlicheres Ventil, das statt des Kolbens mit einer Membrane versehen war. Durch sie wurde der Luftfluß etwas feiner reguliert.

Da der Mechanismus im Inneren der Regler rotiert, bringt eine gelochte Drehscheibe Bohrungen mehr oder weniger weit zur Deckung und ermöglicht so das Ausströmen eines unterschiedlich starken Luftstromes aus dem Druckluftbehälter. Ein Vergleich der beiden Reglervarianten zeigt, daß der

[32] Dick, Peter: What has a Tea seller got to do with diving? Origins of the demand regulator. In: *HDS Times*, Nr. 16, Sommer 1996, S. 18-21.

Kolbenregler weniger Luftbohrungen besitzt als der Membranregler. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Membrane einen geringeren Weg zurücklegt als der Kolben, und so für das gleichen Luftvolumen beim Membranregler eine grössere Anzahl von Bohrungen erforderlich ist als beim Kolbenregler. Leider ist nicht bekannt, ob das Tauchgerät von Pouilliot gebaut und eingesetzt wurde.

Neben der recht gut durchdachten Konstruktion für einen Atemregler von Pouilliot gibt es noch eine zweite von einem anderen französischen Erfinder. Sie stammt von 1838 und umfasst neben einem bedarfsgesteuerten Atemregler noch überraschend viele, andere Bestandteile unseres modernen Tauchgerätes. Es handelt sich dabei um das Patent für ein Tauchgerät von Theodore Guillaumet, welches ihm am 14. November 1838 zuerkannt wurde.[33] Guillaumet war Arzt in Argentan an der Orne in Nordwest-Frankreich. Sein Patent enthält eine Anzahl detaillierter Zeichnungen und Skizzen, die von einem für diese Zeit sehr bemerkenswerten technischen Verständnis von den Voraussetzungen und Bedingungen, bedarfsgesteuert unter Wasser zu atmen und einen Taucher in verschiedenen Wassertiefen zu versorgen, zeugen.

Der Regler von Guillaumet arbeitet mit einem Hebelsystem, das auf ein sich linear in einer Führung bewegendes, gelochtes rohrförmiges Schubventil wirkt, sowie aufgrund von Druckdifferenzen auf beiden Seiten einer Membrane. Das Einatemventil befindet sich auf der einen Seite der Membrane in einer separaten Kammer, der Wasserdruck liegt auf der anderen Seite an und veranlaßt die Membrane abhängig von der Größe des Druckdifferenz zu einer Lageänderung. Dadurch verschiebt sie das gelochte Röhrenventil und aktiviert den Luftstrom zum Mundstück des Tauchers. Es baut sich solange auf der Einatemseite ein Druck auf, bis die Druckdifferenz beseitigt, die Membrane in ihre neutrale Position zurückgekehrt und das Ventil wieder geschlossen ist. Die großflächige Membrane brachte unter anderem eine größere Empfindlichkeit und damit genauere Abstimmung auf den Umgebungsdruck mit sich. Ähnlich wie bei unseren modernen Zweischlauchautomaten verwendet Guillaumet ein Mundstück mit einem Paar Einwegventile, die den Luftstrom zum Taucher und dann nach außen in das Wasser leiten. Ein gebogenes Ausatemrohr soll sicherstellen, daß unabhängig von der Lage des Tauchers kein Wasser in den Schlauch eindringen kann. Guillaumet führte im Sommer 1839

[33] Bauer, J.A. und Bauer, S.E.: The earliest inventor of the Demand Regulator. In: *HDS Newsletter*, Nr. 14, Dezember 1995, S. 7-14. Jung, Michael: Theodore Guillaumet's Versuche mit seinem bedarfsgesteuerten Atemregler. In: *Divemaster-Magazin*, Stuttgart, Heft 4/98, S. 53-55. Es existiert auch ein englisches Patent, allerdings nicht unter dem Namen von Guillaumet sondern von William Edward Newton, Guillaumets Patentanwalt in London. Siehe dazu auch: Verbesserungen an den Taucherapparaten. In: *Dinglers polytechnisches Journal*, Bd. 72, 1839, S. 366-369.

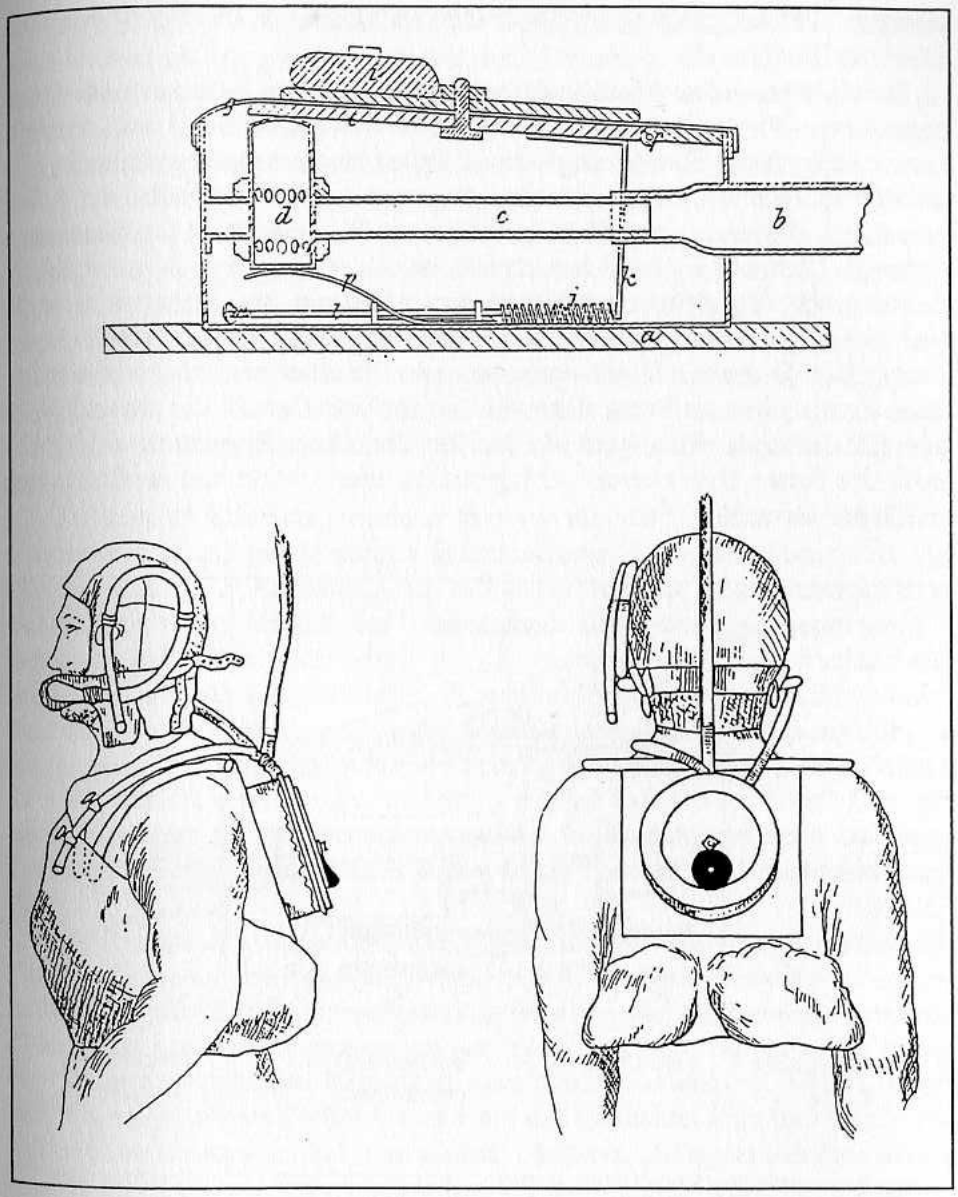


Abbildung 21:
Oben ein Querschnitt durch den Atemregler von Theodore Guillaumet, unten sein Taucher mit Tarierweste, 1838. Man erkennt gut das Gewichtsstück auf der Membrane.

mehrere Testtauchgänge in der Seine und dem Hafen von Cherbourg in bis zu 16 Meter Tiefe durch.

Zur Erhöhung des Atemkomforts bei verschiedenen Positionen des Tauchers unter Wasser hatte sich Guillaumet einen besonderen Trick einfallen lassen: „Damit der Taucher auch leicht atmen kann, wenn er sich nach vorwärts neigt, oder rückwärts krümmt, d.h. wenn seine Brust tiefer oder höher ist als sein Regulator, hat Herr Guillaumet ein Bleigewicht an der Membrane befestigt. Dieses Gewicht ist fast neutral, wenn der Taucher sich in aufrechter Stellung befindet; wenn er sich aber vorwärts beugt, so komprimiert es die Luft des Regulators zusätzlich, so daß sie denselben Druck erleidet, wie die Brust. Das Gegenteil findet statt, wenn der Taucher sich rückwärts neigt; denn dann erleidet die Brust, die nun höher ist, einen Druck, der etwas schwächer ist, als der der Flüssigkeit, die auf den Deckel des Regulators wirkt. Man muß also dessen Druck etwas verringern; und dies bewirkt hier die Entlastung durch das Gewicht."

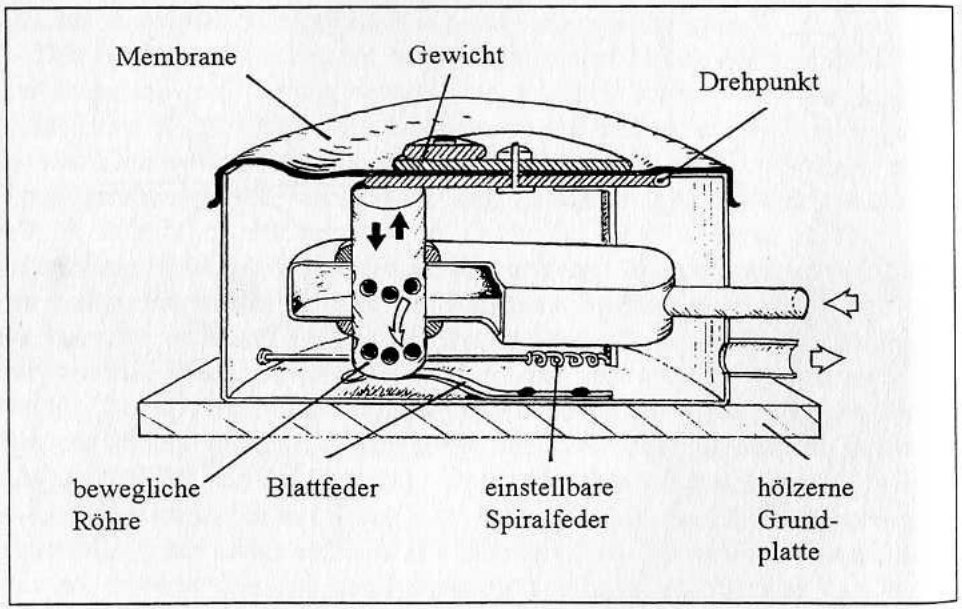


Abbildung 22:
Im Regler von Guillaumet bewegte sich ein gelochtes Röhrenventil auf und ab und gab, je nach freigegebenem Bohrungsquerschnitt, mehr oder weniger viel Luft in die Atemkammer ab.
Aus: *Bevan, John: The first demand valve?* In: Diver, London, February 1989, S.36. (C) John Bevan.

Jean-Jeremie Pouilliot und Theodore Guillaumet waren ihrer Zeit leider zu weit voraus, und sie werden wohl mit ihrer Erfindung, die heute weltweit von Millionen Menschen eingesetzt wird, kein Geld verdient haben. Pouilliot gebührt nach unserem heutigen Wissen der Lorbeerkranz für den ersten Entwurf eines bedarfsgesteuerten, einstufigen Atemreglers in Verbindung mit einem autonomen Druckluftatuchgerät, auch wenn er es nicht so ausführlich beschrieb wie Theodore Guillaumet. Dessen Erfindung war kein autonomes Tauchgerät, da er nach wie vor eine Oberflächenversorgung vorsah, allerdings hätte sein Atemregler, wenn man ihn an eine Druckluftflasche angeschlossen hätte, ohne Zweifel ein sehr gutes autonomes Gerät ergeben. 1838 gab es aber weder Pumpen für eine Hochkomprimierung der Druckluft noch geeignete Behälter für sie, so daß Guillaumet eine Atemluftversorgung durch einen Schlauch von einer Pumpe an der Oberfläche hin zu seiner großen Einatemkammer vorsah.

Guillaumets Erfindung wurde ebenso wie die von Pouilliot von den oberflächenversorgten, geschlossenen Helmtauchergeräten überschattet, die zur gleichen Zeit durch Augustus Siebe in England auf dem Markt gebracht wurden und ein neues Zeitalter der Tauchtechnik einläuteten, und geriet wohl in Vergessenheit. Was noch fehlte war die entsprechende Hochdrucktechnik, sowie handliche Druckluftflaschen, die mit mindestens 100 bar gefüllt werden konnten und damit einen effizienten Einsatz der autonomen Tauchgeräte ermöglichten. Die Wege, die manche Erfindungen gehen, bis sie sich etablieren können, sind oft verschlungen, und oft „wird das Rad neu erfunden". Dies gilt ganz besonders für den bedarfsgesteuerten Atemregler, der noch einigemal „erfunden" werden mußte, bis er seinen festen Platz an der Tauchausrüstung fand.

1845 stellte der königlich-französische Oberingenieur und Professor der Bergbaukunst an der Bergwerksschule zu Paris Charles Combes in seinem „Handbuch der Bergbaukunst" ebenfalls einen einfachen, bedarfsgesteuerten Atemregler vor. Sein Atmungsregulator gilt als direkter Vorläufer des später so berühmt gewordenen Regulators von Benoit Rouquayrol. Wie Combes schrieb, stammt seine Funktionsweise aus der Gaslichttechnik und wurde von dort für die Anwendung bei Atemgeräten adaptiert: „Statt der ledernen Säcke, welche mit Luft von atmosphärischem Druck angefüllt sind, kann man im Grubenrettungswesen auch Behälter von Blech von weit geringerer Räumlichkeit haben, welche zusammengedrückte Luft enthalten. Diese Behälter müssen mit einem sinnreichen Apparate versehen sein, dessen man sich auch bedient hat, um das Ausströmen des Leuchtgases, welches man auch in metallische Gefässe zusammendrückte, zu regulieren. Wir sahen Gefässe von Blech, etwa von einem Hectoliter räumlichen Inhalt, welche von der alten Compagnie des

tragbaren Gases (Portable Gas Companie) angewendet worden waren, und welche mehrere Monate lang Gas unter 8 bis 10 Atmosphären Druck enthalten konnten.“[34]

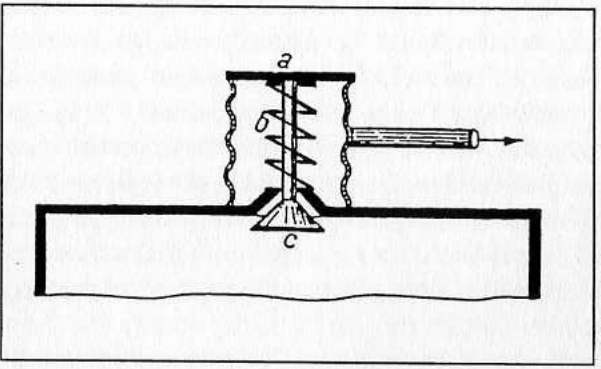


Abbildung 23:
Der Konstruktionsvorschlag für einen Atemgasregler von Charles Combes, 1845.

Da Combes seiner Beschreibung keine Skizze beigefügt hat, wird hier der Versuch gemacht, die Wirkungsweise des Regulators nach seiner Beschreibung zu erläutern: Eine Bleiplatte a, die den durch einen blasebalgartigen Lederzylinder elastisch begrenzten Vorraum b des Reservoirs nach oben abschließt, öffnet durch ihr Gewicht direkt oder über ein Hebelsystem das konische Ventil c und lässt so viel Luft in den Vorraum einströmen, wie ihrem Gewicht entspricht. Dann schließt sich das Ventil, und der Atmende entnimmt Luft aus dem Vorraum. Durch das hierbei entstehende Vakuum öffnet sich das Ventil wieder, und das Spiel wiederholt sich. Combes schreibt, dass die Wirkung des Gewichts der Scheibe auch durch eine Feder ersetzt werden kann. Interessant ist hierbei, dass der Atemregler keine flache sondern blasebalgartige Membrane besass. Dadurch erhöhte sich zwar die Membranoberfläche, der Bauraum war aber geringer als bei gleich grossen, flachen Membranen.

Das Reservoir bestand aus einem zylindrischen Gefäß mit halbkugelförmigen Ende, 25 bis 26 Zentimeter im Durchmesser, 0,73 Meter lang, welches 0,33 qm komprimierte Luft fasste. Eine Maske bedeckte Nase und Mund, auch hier sind in dem Mundstück zwei Klappenventile zum Ein- und Ausatmen vorhanden.

Erst um 1864 gelang dem Atemregler den entscheidenden Schritt in die Tauchpraxis, denn zwischen 1860 und 1862 wurden mehrere Gasdruckregler erfunden, welche gut ausgearbeitet waren und problemlos funktionierten.

[34] Combes, Charles: *Handbuch der Bergbaukunst*. Deutsch von Carl Hartmann. Weimar, 1845, Band 2, Seite 182-183

Zunächst ist es der von Parkinson patentierte stationäre Gasregulator.[35] Dieser Apparat, welcher sich, wie es scheint, in der Praxis gut bewährt hat, bewirkt die Regulierung des Gasstromes durch ein Ventil, das mit seiner Kappe in einer Quecksilberrinne schwimmt und durch die Höhe der Quecksilbersäule in seiner Stellung fixiert wird. Der Vorteil des Quecksilbers war, dass es einen sehr niedrigen Gefrierpunkt hat und so die Membrane auch bei niedrigen Umgebungstemperaturen noch sehr leichtgängig war. Eine Lederabdichtung würde schon wesentlich früher steiff werden und die leichte Bewegung der Membrane erschweren.

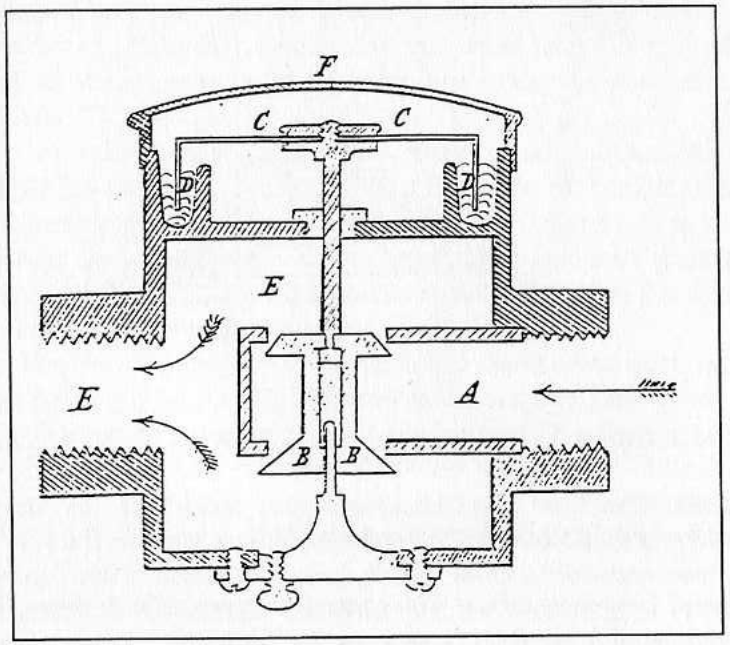


Abbildung 24:*Der Gasdruckregler von Parkinson, 1861.*

Das Gas tritt bei A in Richtung des Pfeils ein, geht durch das Ventil B zu der Kammer E und in der Richtung der Pfeile weiter. Das Ventil ist, wie man sieht, ein doppeltes an einer einzigen Achse. Die Verlängerung dieser Achse trägt die Kappe C,C, deren Rand in der Quecksilberrinne D,D taucht. Der ganze Apparat ist durch einen Deckel gegen äußere Beschädigung geschützt. Der Regulator wird so befestigt, dass die Quecksilberrinne genau horizontal steht.

[35] *Dinglers polytechnisches Journal*, 1861, Band 161, S. 257

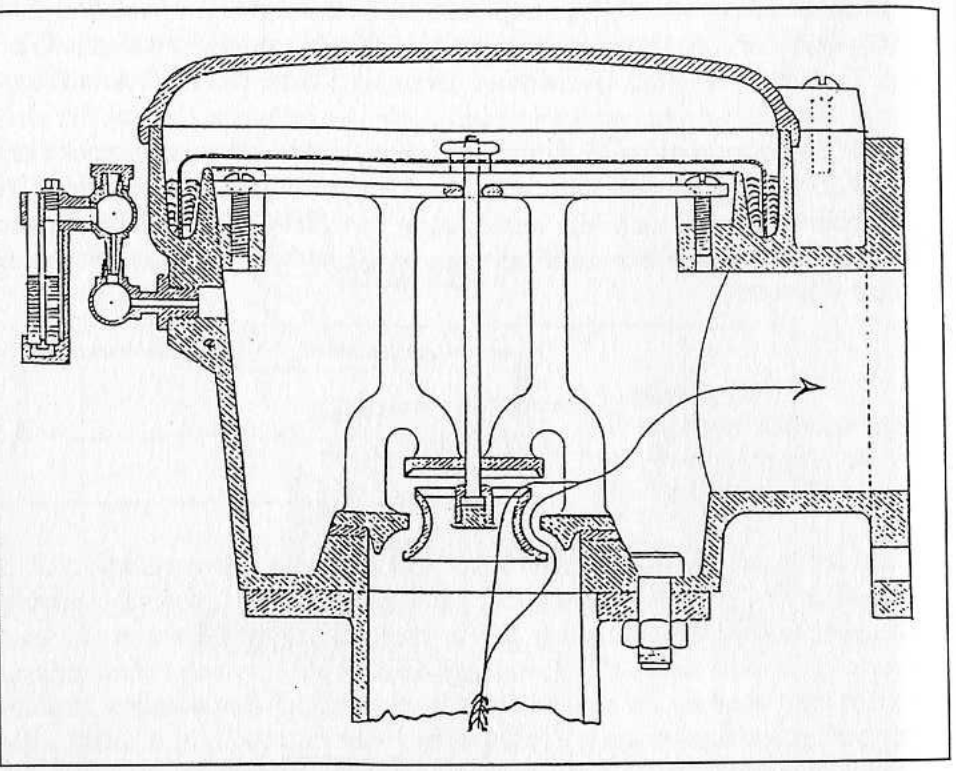


Abbildung 25:
Der Gasdruckregler von Edward Ferguson, 1861.

Edward Ferguson erfand 1861 einen anderen selbständigen Gasregulator und beschrieb ihn wie folgt: „unten ist das Eintritts-, rechts das Austrittsrohr. Das Regulatorventil hat eine besondere Form, so dass es nur seitlichen Druck auszuhalten hat. Durch seine niedrige Aufstellung ist es möglich, der Glocke des Regulators nur eine Mittelführung zu geben und die Seitenführungen wegzulassen. Die membranartige Glocke ist aus leichtem Eisenblech angefertigt; sie bedarf daher keines Gegengewichtes, sondern muss sogar zur Regulierung des Druckes mehr oder weniger belastet werden. Der Deckel schliesst den ganzen Apparat, und schützt ihn gegen äußere Einwirkungen. Die Glocke ist in einer Quecksilberrinne aufgehängt; sie kann also auch vom Froste nicht leiden."

Eine von der Mülhauser Industrie-Gesellschaft ernannte Kommission zur Begutachtung dieser Regulatoren hat die Urteile verschiedener sachverständigen Industriellen eingeholt, welche die Regulatoren längere Zeit angewandt

hatten. Es geht aus ihrem Bericht folgendes hervor: „Die Ferguson'schen Regulatoren sind dazu bestimmt, an verschiedenen Punkten der Gasleitung angebracht zu werden und bei den dazu gehörigen Brennern ein gleichmäßiges Brennen und mithin Gasersparnis zu erzielen. Diese Ersparnis und die Regelmäßigkeit des Druckes ist in allen Fällen erzielt worden, wo nicht ganz besonders störende Verhältnisse vorliegen; alle Urteile sprechen sich hierin günstig aus; natürlich ist die Ersparnis nur annähernd ermittelt und daher auch verschieden angegeben worden. Die angeführten Zahlen wechseln zwischen 10 und 27 Procent. Der gerügte Übelstand, daß die Schwere des Quecksilbers einen zu geringen Spielraum für die Glocke ermögliche, würde nach dem Urteil der Kommission dadurch zu vermeiden sein, dass man Glycerin statt des Quecksilbers anwendet, was natürlich auch den Preis des Instrumentes erniedrigen würde."[36]

Ein ganz besonders wichtiges Detail ist das erstmals an dem Regler von Ferguson links zu sehende Überdruckventil. Es sollte verhindern, dass sich durch eine zurückschlagende Flamme ein zu grosser Überdruck in der Gaskammer aufbaut und dadurch die Kappe beschädigt wird oder ganz aus der Quecksilberrinne abhebt. Dieses Überdruckventil wurde später bei den Atemreglern als Ausatemventil umfunktioniert.

Das Problem der Abdichtung der beweglichen Glocke von dem feststehenden Gehäuse beseitigte M. Leffingwell aus New York, der 1864 einen Druckregulator für Leuchtgas patentierte, welcher nicht mit Quecksilber oder einer Flüssigkeit arbeitet, sondern mit einer flexiblen Membrane.[37] Damit konnte unter anderem der Regulator auch lageunabhängig verwandt werden. Die zugehörige Abbildung stellt seinen Regulator im Schnitt durch die Achse dar. Die Membrane besteht aus einer Lederscheibe, welche zwischen zwei Metallscheiben mittels zweier Muttern am Stift des Ventils gehalten wird. Diese Scheiben sind so gewölbt, daß sie auf das Leder nur an dem Umfang drücken, und bestehen aus einem Metall, welches von den Bestandteilen des Gases und der sich bildenden Niederschläge nicht angegriffen werden kann. Die Flantsche des eisernen Reglergehäuses sind mit demselben Metall überzogen, so daß der vom Gas mitgerissene Steinkohlenteer das Eisen nicht zerfressen kann. Der Deckel ist so aufgesetzt, daß er leicht abgenommen werden kann. Das Gas tritt unten ein, geht zwischen dem konischen Ventil und dessen Sitz durch und dann durch die Öffnung rechts oben zu den Brennern. Eine kleine Schraube verschließt eine Öffnung, durch welche Kondensat entfernt werden kann.

---

[36] *Dinglers polytechnischem Journal*, 1860, B. 157, S. 117-124, u. 1861, B. 162, S. 421 ff.
[37] *Dinglers polytechnisches Journal*, 1864, Bd. 174, S. 423, und *Le genie industriel*, Paris, Oktober 1864, S. 211

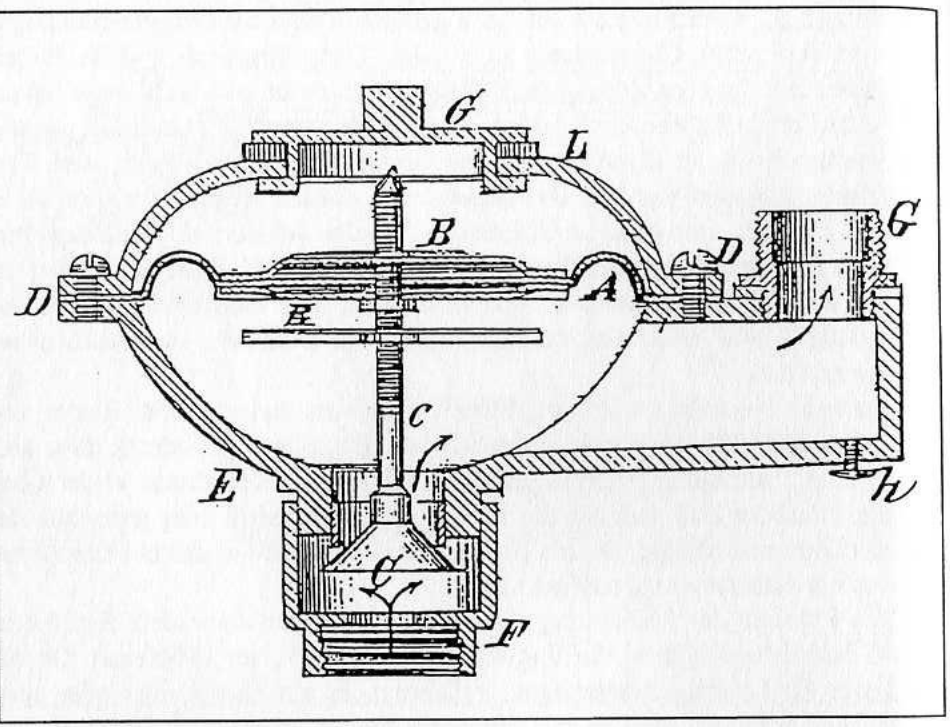


Abbildung 26:
Das Gasdruckregler von M. Leffingwell, 1864.

Diese Gaslichtregulatoren, und vor allem der letzte von Leffingwell, waren weitestgehend ausgereift und auch als Atemregler geeignet. Ein französischer Erfinder setzte tatsächlich fast zeitgleich einen solchen Regulator nicht mehr nur für Gaslicht sondern auch für Atemgeräte praktisch ein.

Das Regulatorgerät von Rouquayrol-Denayrouze

Der französische Grubeningenieur Benoit Rouquayrol entwickelte um 1860 ein Rettungsgerät, mit dem Hilfsmannschaften den Bergleuten im Falle eines Grubenunglückes zu Hilfe kommen sollten.[38] Er führte damit die Errungenschaften der Gaslichttechnik mit dem Grubenrettungswesen zusammen. Das Gerät wurde aber nicht nur über Wasser eingesetzt, sondern recht bald auch in einer etwas umgebauten Version in überfluteten Stollen und Brunnenschächten. Das brachte den Marineoffizier Auguste Denayrouze auf die Idee, aus dem Rettungsgerät für Bergleute von Rouquayrol mit nur geringfügigen Umbauten ein Tauchgerät zu entwickeln. Er schloß sich mit Rouquayrol zusammen, und beide erhielten im Laufe der nächsten Jahre rund ein Dutzend verschiedene Patente für ihren Taucher- und Minenapparat.

Abbildung 27:
In dem ersten Patent F 63.606 von Benoit Rouquayrol zu einem Atemgerät mit Schutzanzug für die Grubenrettung vom 27. Juni 1864 ähnelt der tornisterartige Regulator noch sehr auffällig seinem Vorgängermodell von Charles Combes.

[38] Siehe dazu: Bremen, Ludwig von: *Die bei Ludwig von Bremen & Co. hergestellten Atem- und Tauchgeräte von Rouquayrol-Denayrouze. Reprints der Gerätebeschreibungen von 1873-1876.* Merzig, 1998; u. Michel, Jacques: *Trois inventeures mecconus*. Espalion, 1980

Die ursprüngliche Konstruktion von Rouquayrol hat so im Laufe der nächsten 10 Jahre mehrfache, teilweise erhebliche Verbesserungen erfahren. Alle Patente basierten auf dem gleichen Grundprinzip der Druckreduzierung und -anpassung, das auch schon andere vorher angewandt hatten. Der ursprüngliche Atemregler von Benoit Rouquayrol bestand aus einer einstufigen, einkammerigen und membrangesteuerten Reduziereinrichtung ähnlich der Beschreibung von Combes von 1845. Am 6. Januar 1862 erweiterte Rouquayrol sein Patent um ein „Mundstück aus vulkanisiertem Kautschuk, das an einem metallischen Schnabelstück befestigt ist." Dieses Mundstück wurde beim Tauchen ohne Helm oder Gesichtsmaske mit ungeschützten Augen eingesetzt, wobei die Nase mit einer Klemme verschlossen werden sollte.

Der Entwurf von Rouquayrol war ebenso simpel wie all seine Vorgänger: Der Tornisterapparat besteht aus zwei durch eine dünne Blechwand getrennte, durch ein nach unten zu öffnendes Ventil verbundene Teile, dem unteren Horizontalzylinder - dem „Reservoir" für sieben bis acht Liter Luft unter einem Druck von 30 bis 40 bar - und dem oberen Vertikalzylinder, der „Luftkammer" oder „Atemkammer". In dem unteren Zylinder ist der Luftzuführungsschlauch von der Pumpe an der Oberfläche angeschraubt.

Beide Teile sind an einem Trageblech angelötet und werden auf den Rükken geschnallt. Den Deckel des oberen Zylinders bildet eine durchlöcherte Blechscheibe mit einer darunter liegenden, runden Kautschukplatte. Sie ist unten durch eine Metallscheibe verstärkt. Dieser Kautschukdeckel ist mit den Wänden hermetisch verbunden, ruht aber zugleich auf dem Schaft des Ventils in der Mitte der Atemkammer und bildet so eine nach oben und unten bewegliche Membrane.

Sobald der Taucher unter Wasser geht, drückt die Wassersäule den Kautschukdeckel ein und damit den Ventilschaft hinunter. Dadurch öffnet sich das Ventil, und die Luft des Reservoirs strömt nach oben in die Atemkammer, füllt sie und hebt, sobald sie die Stärke des Wasserdrucks erreicht hat, den Deckel. Somit hebt sich auch der Ventilschaft und das Ventil schließt sich. Der in der gefüllten Atemkammer herrschende Druck entspricht also stets dem durch die Tauchtiefe bedingten Umgebungsdruck.

Die Atemkammer steht über einen Schlauch mit dem Mundstück des Tauchers in Verbindung. Macht der Taucher einen Atemzug, entnimmt er der Atemkammer die seiner Tiefe entsprechend verdichtete Luft. Durch den Unterdruck in der Atemkammer öffnet sich das Ventil und Druckluft strömt nach. Anschließend stösst der Taucher mittels Pendelatmung die verbrauchte Luft durch den Mundschlauch in die Atemkammer zurück. Von dort dringt sie in ein oberhalb angebrachtes Ausatmungsröhrchen und von hier durch ein Entenschnabelventil ins Wasser. Das Ausatemventil entstand durch das einfa-

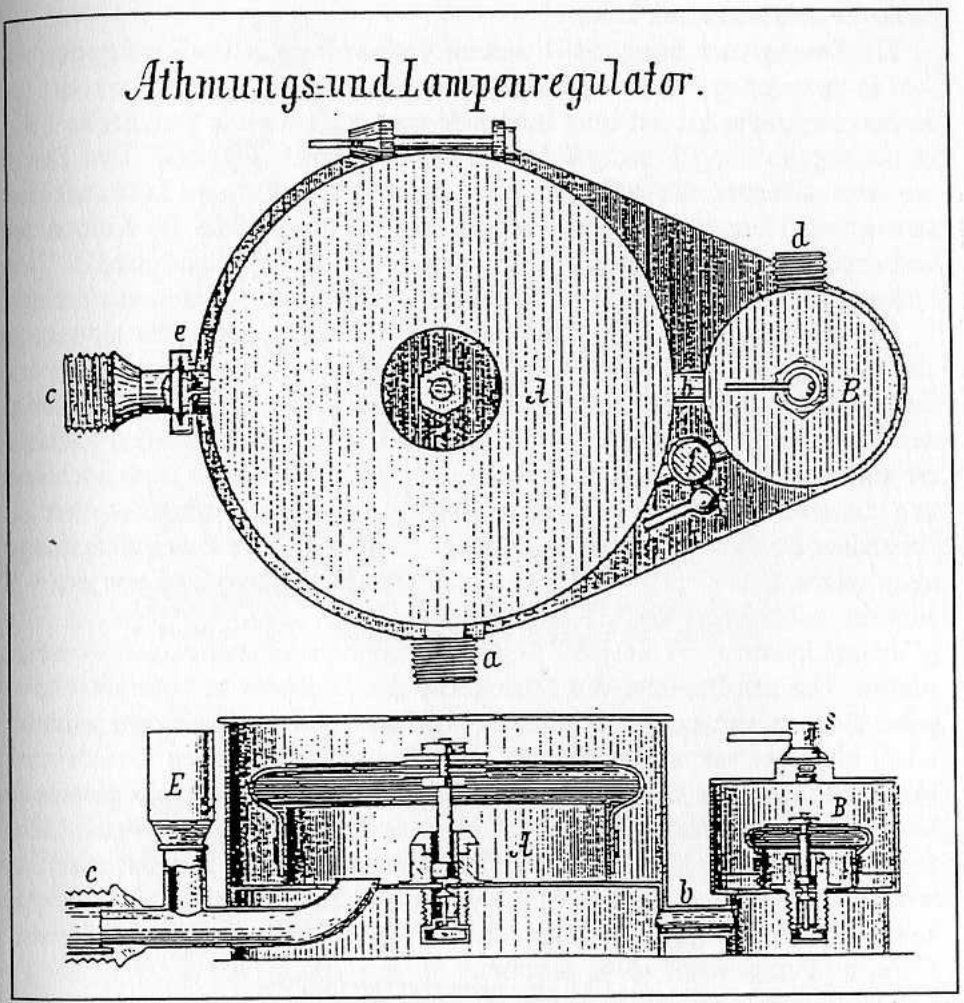


Abbildung 28:
Querschnitt durch den Atmungs- (links unten) und Lampenregulator (rechts unten), 1866. Beide sind auf einer gemeinsamen Trageplatte befestigt.

che Umfunktionieren des bereits erfundenen Überdruckventils an den Gasreglern.

Diese Vorgänge wiederholen sich bei jedem Atemzug. Der Taucher atmet also wieder in die Atemkammer zurück, so daß nur ein Teil der Ausatemluft durch das Ausatemventil entweicht, ein Teil wird erneut eingeatmet. Einen

ebensolchen Regulator verwandte Rouquayrol auch für die Druckluftzufuhr zu seiner unterseeischen Lampe.

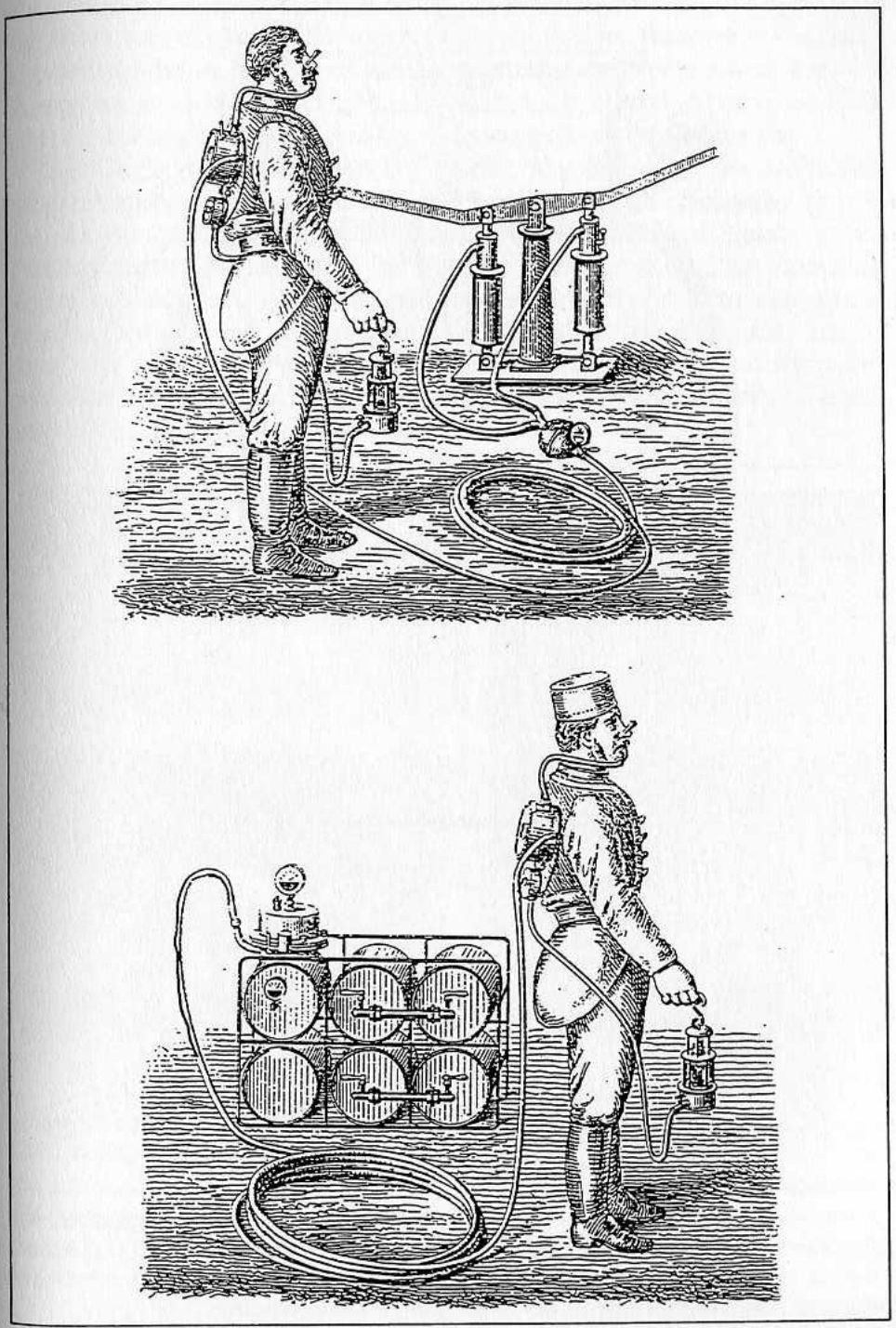
Ein Zusatzpatent bringt 1864 weitere Verbesserungen am Tauchgerät, von dem es inzwischen zwei verschiedene Bauversionen gab: Die eine arbeitet auf die herkömmliche Art mit einer Schlauchversorgung von der Oberfläche - dies ist die sogenannte „Wasserpfeifen-Version" (Nargileh, Hookah). Das Patent sah dazu eine spezielle Luftpumpe vor, die ein Verdichten der Luft ohne nennenswerten Temperaturanstieg ermöglichte. Bei ihr standen die Kolben fest und wurden ständig wassergekühlt, während sich das Gehäuse bewegte. Diese Luftpumpe hatte zwei bis vier Zylinder beziehungsweise Kompressionsstufen.

Die andere Version mit abgenommenem Schlauch stellt einen autonomen Tauchapparat dar. Er machte den Taucher für eine gewisse, wenn auch kurze Zeit unabhängig von der Luftzufuhr von der Oberfläche und ermöglichte einen unabhängigen Aufenthalt auf dem Meeresboden: Ein autonomes Tauchgerät mit bedarfsgesteuertem Atemregler, das kurze Zeit später auch nachweislich eingesetzt wurde. Für diese autonome Version stand zunächst aber nur ein kleiner Druckbehälter zur Verfügung: Er hatte 8 Liter Fassungsvermögen unter einem Druck von 8 bis 16 bar und erlaubte Tauchgänge von etwa 15 Minuten in bis zu 10 Meter Tiefe.

In den Jahren 1864 bis 1867 folgten weitere Modifikationen und Verbesserungen. Um das Problem des Auskühlens des Tauchers zu beseitigen sowie seine Sicht zu verbessern, wurde das Regulatorgerät auch mit dem geschlossenen Helmtauchanzug kombiniert. Versuche in verschiedenen französischen Häfen bewiesen in dieser Zeit die Überlegenheit des Regulatorgerätes im Vergleich zu den bisher vorwiegend verwendeten, schlauchversorgten Helmtauchergeräten: Die sehr große Handlichkeit verblüfft die Berufstaucher, sowie der ungewohnte Atemkomfort. Durch die Pufferwirkung des zwischengeschalteten Druckbehälters waren die bei direkter Luftzufuhr pulsierenden Hübe der Pumpe kaum mehr zu spüren.

Die Bedienung der Luftpumpe wurde dadurch etwas vereinfacht, weil die frühere große Sorgfalt bei der Einregelung des Luftdruckes jetzt nicht mehr nötig ist. Den Druck der Luft, welche dem Taucher zugeführt wird, erkannte

Abbildung 29 (rechts):
Die erste Version des Regulatorgerätes war für Einsätze im Grubenrettungswesen gedacht. Oben die schlauchversorgte Version mit Hebelpumpe, unten autonom mit grossem Druckluftbehälter (1866/1868).



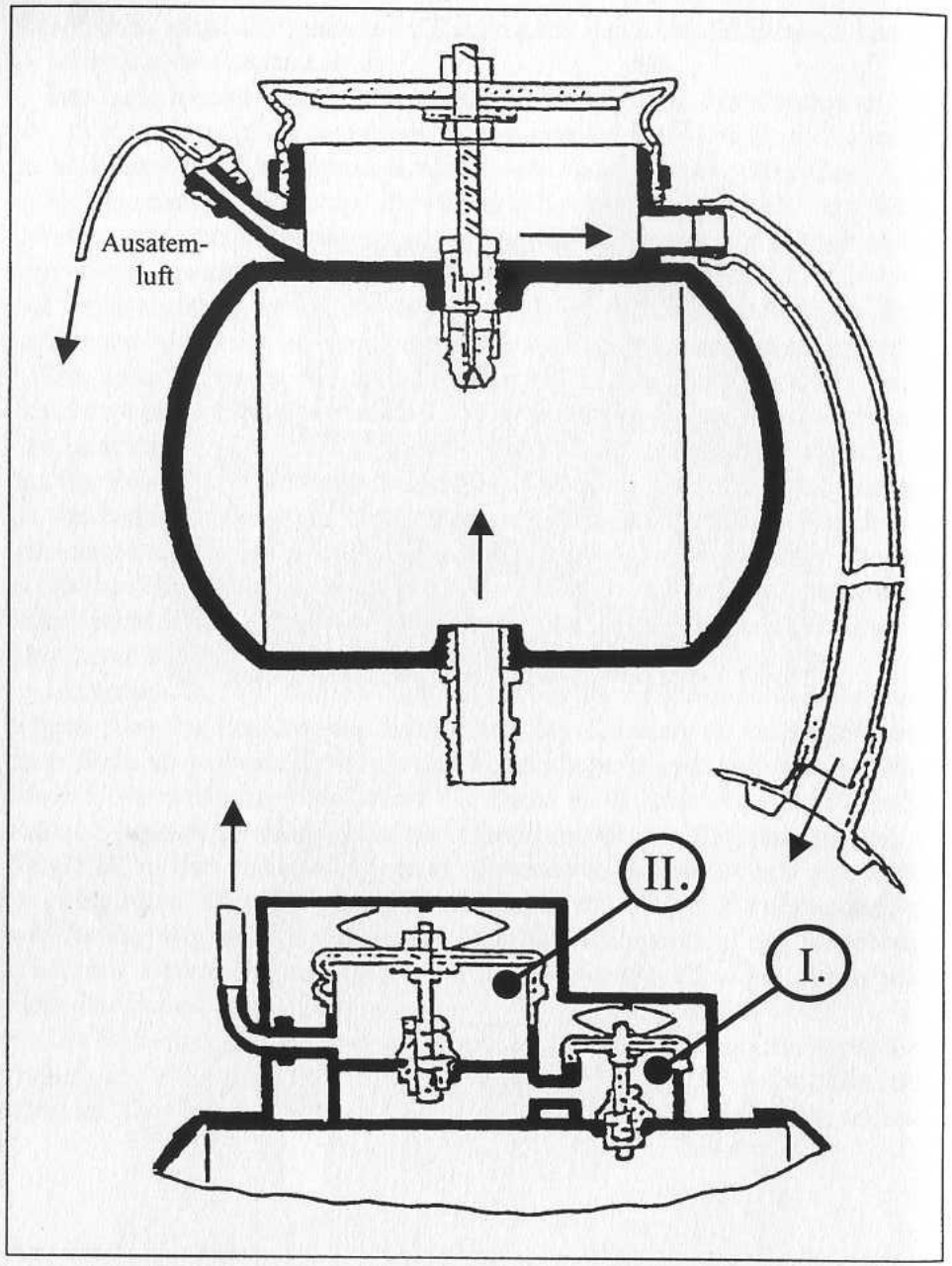


Abbildung 30:
Konstruktionszeichnungen aus dem Patent USA 59.529 von 1866. Oben die einstufige Variante, unten der zweistufige Regler (I = 1. Stufe, II = 2. Stufe).Gut erkennbar ist oben das Ausatemventil als Bestandteil der Atemkammer. Es entwickelte sich aus dem Überdruckventil der Leuchtgas-Druckregulatoren.

die Pumpenmannschaft aus dem Stand des Manometers an der Pumpe. Dessen Skala war, der Bequemlichkeit halber, nach Metern Wassertiefe eingeteilt. Der Druck, der in 10 Meter Tiefe herrscht, entspricht etwa einem bar. Die Pumpe musste jedoch so geregelt werden, dass das Manometer etwa ein Drittel bar mehr angibt, als der jeweilige Umgebungsdruck tatsächlich war.

Die Geräte hatte noch weitere Vorteile: Ein Zerreissen des Luftzuführungsschlauches war beispielsweise mit keiner grossen Gefahr mehr verbunden, da das Rückschlagventil im Tornister den Eintritt von Wasser in den Behälter unmöglich macht und der Taucher, sobald er merkt, das sein Luftvorrat zu Ende geht, „ruhig die gusseisernen Sohlen und sogar den ganzen Apparat ablegen und schwimmend oder auf der Leiter nach oben steigen kann". Da man auch ohne Anzug tauchen konnte und dadurch nur kurze Zeit zum Ausrüsten brauchte, war dieses System besonders für schnelles Eingreifen des Tauchers von grossem Wert.

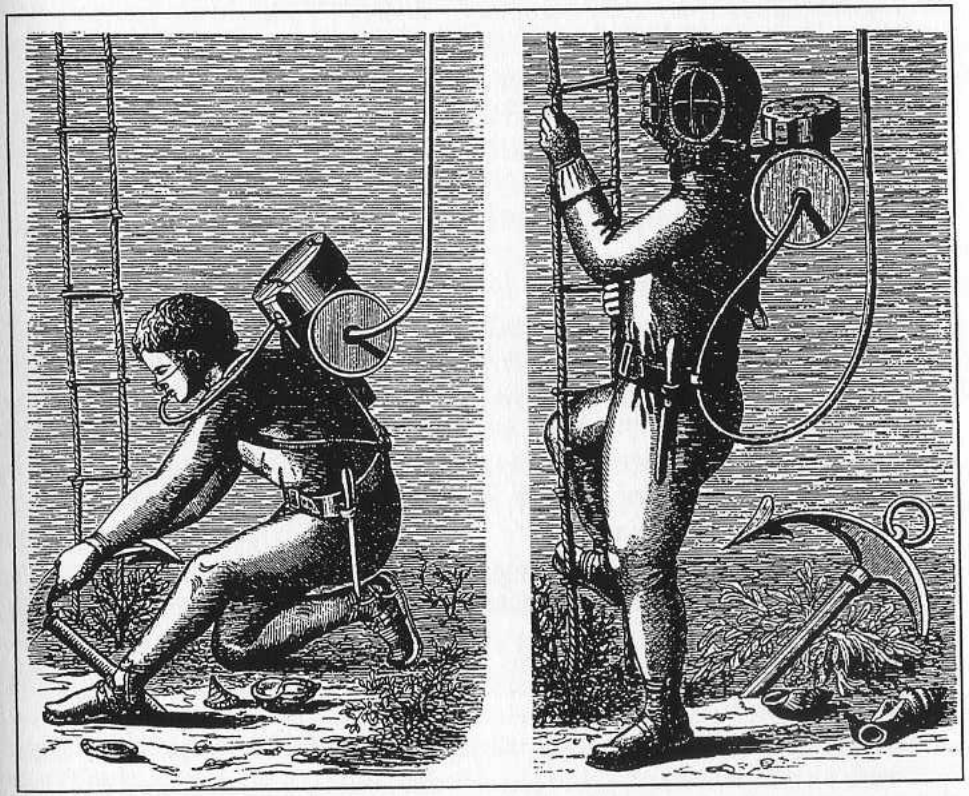


Abbildung 31:
Links das Tauchgerät von Rouquayrol-Denayrouze ohne Maske, mit Nasenklammer, 1864. Rechts in Kombination mit einem Helmtauchergerät, 1867.

In dem „Handbuch der Seemannschaft“ von Carl Dick finden sich sehr gute Konstruktions- und Funktionsbeschreibungen des Gerätes von Rouquayrol und Denayrouze.[39] Zu der „Tätigkeit des Apparates ohne Anzug und Helm“ schreibt er: „Die Beschaffenheit des Apparates erlaubt auch ein Tauchen mit Tornister und Schuhen ohne Anzug und Helm. Die Nase wird dabei durch den Nasenklemmer, die Ohren werden durch in Öl getränkte Baumwolle verschlossen. Alle Organe, besonders die Augen, Ohren und Lungen, werden hierbei viel mehr als beim Tauchen mit Anzug und Helm angestrengt. Nur sehr geübte Leute werden auf diese Weise tauchen können, und auch diesen darf man das Tauchen bis auf höchstens 5 Meter Tiefe nur bei klarem Wasser und nur für kurze Zeit gestatten. Die Sicherheit des Tauchers hängt in diesem Falle in hohem Grad von dem Nasenverschluss ab. Löst sich dieser, so muss der Taucher sofort an die Oberfläche kommen. Der Taucher kann sich bei eintretender Gefahr nur dadurch retten, dass er sich der Schuhe und des Tornisters entledigt und schwimmend an die Oberfläche kommt.“

Dick beschreibt auch die besonderen Anforderungen, die an einen Taucher gestellt werden:

„1. Er muss gesund und von starkem Körperbau sein. Schon das Tauchen mit Schnupfen und Husten ist unzulässig.
2. Er muss ruhig und kaltblütig von Natur sein.
3. Er darf nicht transpirieren, und die Tätigkeit seiner Lungen muss normal sein.
4. Er darf seit mindestens 1,5 Stunden keine grossen Mahlzeiten eingenommen haben.
5. Er darf seit mehreren Stunden keinerlei Spirituosen zu sich genommen haben.“

1865 wurde der Druckminderer durch einen geänderten Ventilkörper etwas verbessert, und eine größere Fläche der Membrane ermöglichte eine Funktionsempfindlichkeit bis auf wenige Zentimeter Wassertiefe. Interessant ist auch ein Patent vom September 1865, bei dem eine Warnpfeife an das Gerät eingefügt wird, die den Benutzer über das baldige Ende seines Luftvorrates informiert. Dem Patent von Rouquayrol vom November 1866 kommt ein besonderer Stellenwert zu: Ein Ausschnitt der Patentzeichnung zeigt den ersten Entwurf für eine zweistufige Druckreduzierung, wie sie heute in unseren Tauchgeräten Standard ist.

Die Vermarktung des Tauchapparates Rouquayrol-Denayrouze, der autonom oder schlauchversorgt verwendet werden konnte, begann Ende 1864. Der Durchbruch kam aber erst 1866, als die französische Marine ihre Schiffe mit

[39] Dick, Carl: *Handbuch der Seemannschaft*. Berlin, 1893

diesen Tauchgeräten ausrüstete und sie gemeinsam mit den Helmtauchergeräten verwandte. 1867 wurde die Erfindung bei der Pariser Weltausstellung dann endgültig allgemein bekannt. Der Rouquayrol'sche Apparat erregte dort sehr viel Aufsehen und wurde von der Jury mit der goldenen Medaille ausgezeichnet. Nun gelangte er zu immer größerer Popularität, vor allem in den Kriegsmarinen. Er wurde auch durch Jules Vernes Roman „Zwanzigtausend Meilen unter dem Meer“ weltbekannt. In seinem Meisterwerk von 1869 liess Jules Verne seinen Kapitän Nemo und Professor Aronnax mit Regulatorgeräten von Rouquayrol-Denayrouze auf dem Meeresgrund spazieren.

Das Erfindungspatent ist später von Rouquayrol ganz auf die Gebrüder Auguste und Louis Denayrouze abgetreten worden und wurde von deren Fabrik in Paris technisch verwertet. Als Teilhaber der Pariser Fabrik fungiert die Firma Ludwig von Bremen & Co. in Kiel, welche den Vertrieb der sämtlichen auf dem Rouquayrol-Denayrouze'schen Prinzip beruhenden Apparate in Deutschland übernahm.[40] Von der Firma Ludwig von Bremen ist am 04. September 1873 für Preussen ein Patent auf die neuen „Athmungs- und Beleuchtungs-Apparate in Gruben“ ausgestellt worden.

Ludwig von Bremen hat viele Apparate von Rouquayrol-Denayrouze in Deutschland verkauft. Das deutsche Blatt „Glückauf“ berichtete am 27. August 1871 über äußerst befriedigende Erfolge, welche mit dem Apparat in einem schlesischen Bergwerk inmitten schädlicher, von Grubenbrand herrührender Gase erzielt wurden. In seinen Nummern vom 3. und 24. Dezember 1871 teilt dasselbe Blatt die Erfahrungen mit, welche unter Wasser in einem bei Bochum gelegenen Schacht mit Taucherapparaten und verschlossenen Lampen von derselben Konstruktion gemacht wurden. Die Taucher blieben eine halbe Stunde auf 12 Meter Tiefe und brachten die in dem Schachtsumpf befindlichen Trümmer von Maschinen zu Tage.

1876 hatten die Apparate von Rouquayrol-Denayrouze ihre endgültigen Bauversionen erreicht. Sie lassen sich in folgende Klassen aufteilen:

[40] Die Kieler Firma Ludwig von Bremen begann ab etwa 1865 mit der Produktion von Tauchgeräten nach dem Prinzip von Rouquayrol-Denayrouze. Am 24. Januar 1905 übernahm die „Hanseatische Apparatebau-Gesellschaft“ in Hamburg die Fa. L.v. Bremen und führte die Produktion von Tauchausrüstungen fort. Eine Zweigstelle dieser Gesellschaft wurde 1914 auf dem Werksgelände in Kiel errichtet und 1925 zur Hauptniederlassung erklärt. Am 01. Juni 1927 wurde die Niederlassung in Hamburg aufgegeben. Ab 1937 wurde die Firma durch einen Zusammenschluss in HAGENUK, Hanseatische Apparatebau-Gesellschaft Neufeldt & Kuhnke GmbH umbenannt, und später in „HAGENUK vormals Neufeldt & Kuhnke GmbH“ umgeändert. Die Firma Neufeldt & Kuhnke war 1899 von den beiden gleichnamigen Ingenieuren gegründet worden. HAGENUK verlegte sich nach dem 2. Weltkrieg auf das Gebiet der Telekommunikation und wurde zu einem der führenden deutschen Hersteller von Telefonanlagen und Mobiltelefonen. 1999 ging das Kieler Unternehmen, dass inzwischen zur TIPTEL -Gruppe gehörte, in Konkurs.

1.) Apparate mit direkter Zuführung reiner Luft durch einen Respirationsschlauch, ohne Luftpumpe oder andere besondere Hilfsmittel (Saugrohrapparate für Bergwerke), und
2.) Apparate, durch welche dem Arbeiter Druckluft zugeführt wird. Diese zweite Klasse zerfällt in die beiden Unterrubriken der sogenannten Niederdruck- bzw. Hochdruckapparate.

Die Saugrohrapparate mit direkter Luftzuführung bestanden aus einer einfachen Atmungsbüchse aus Blech, Mundverschluss, gebogenem Einatmungsschlauch, Nasenverschluss und Maske mit Augengläsern. Die Atmungsbüchsen enthielten zwei Entenschnabelventile aus dünnem Kautschuk und funktionierten nach dem gleichen Prinzip wie der Atemapparat von Alexander von Humboldt. Diese Saugrohrapparate wurden ausschließlich in Gruben zur Arbeit in schlechten Wettern eingesetzt. Die Apparate mit Zuführung von Druckluft waren für Arbeiten tief in Stollenschächten, wo das Saugrohrgerät wegen zu langem Saugrohr nicht mehr eingesetzt werden konnte, sowie für Arbeiten unter Wasser, vorgesehen.

Trotz der augenscheinlichen Vorteile hatten Rouquayrol und Denayrouze mit teilweise erheblichen Widerständen bei der Einführung des Gerätes zu kämpfen: Sie waren zunächst sehr teuer, was sich nachteilig auf ihre Verbreitung auswirkte. Hinzu kam, dass das Gerät hinsichtlich seines Bedienungsaufwandes keinen besonderen Vorteil aufweisen konnte: Für einen Tauchertrupp waren als Bedienungsmannschaft bis zu 13 Personen erforderlich, und zwar neben dem Taucher vier Mann zum Pumpen, sowie jeweils einer zur Beobachtung des Manometers, zum Einholen, Stecken und Klarhalten des Luftzuführungsschlauches, zur Bedienung der Signal- und Sicherheitsleine, und ein weiterer Mann zum Einholen, Stecken und Klarhalten des Sprach- und Hörrohres. Beim Tauchen in grössere Tiefe oder bei starker Strömung waren sechs bis acht Mann für die Bedienung der Pumpen erforderlich. Ein weiteres Problem war, dass bei einem Vollaufen der Atemkammer ein Ausblasen unmöglich war.

Das Hauptproblem der autonomen Drucklufttauchgeräte der damaligen Zeit lag aber immer noch in der zu kurzen Tauchzeit. Ursache war der zu niedrige Fülldruck der Druckluftbehälter, einerseits verursacht durch unzureichende Werkstoffe beim Behälterbau, andererseits durch zu schwache Pumpen. Die Zentralfrage war nun nicht mehr, wie die unter Umgebungsdruck stehende Atemluft bedarfsgesteuert zu regulieren ist, sondern wie man eine genügend große Menge Luft in einem handlichen Behälter speichern kann. Dies gelang nur unter entsprechend hohem Druck. Man kannte zur damaligen Zeit aber weder Druckluftpumpen, die einen über 30 bar hinausgehenden Druck erzeugen konnten, noch Herstellverfahren und Werkstoffe für Druckluftbehälter, die den höheren Druck aushielten. Das größte Problem, das sich also allen Erfindern autonomer Drucklufttauchgeräte bis zum Beginn unseres Jahrhunderts stellte, wurde erst gelöst, als Hochdruckkompression möglich wurde, und so in relativ kleinen Behältern genügend große Reserven mitgenommen werden konnten.

Bald wurde dieser Hauptnachteil des französischen Regulatorgerätes für alle deutlich: die zu geringe Einsatzdauer des unabhängigen Tanks. Als autonomes Tauchergerät war es - noch nicht - brauchbar, und als schlauchversorgtes Gerät war es seinen Konkurrenten, den englischen Helmtauchergeräten, nicht ebenbürtig. Die mitgeführte Luftmenge reicht nur für eine kurze Zeit aus, während ein guter, schlauchversorgter Helmtaucher ununterbrochene Taucharbeit bis zu 2 Stunden leisten konnte. Deshalb wurde der Regulator von Rouquayrol bald nur noch in seiner schlauchversorgten Form mit Taucherhelm eingesetzt. Auch an Land in der Bergbautechnik konnte sich das Druckluftgerät nicht dauerhaft durchsetzen, hier waren es die leichten Sauerstoff-Kreislaufgeräte, die ihnen gegen Ende des 19. Jahrhunderts den Rang abliefen.

Leider konnte man zur Zeit Jules Vernes noch nicht die besonderen Vorteile, die das neue Tauchgerät in seiner autonomen Version bot, nutzen, und trotz einiger gravierender Vorzüge konnte sich das Regulatorsystem nicht durchsetzen. Das autonome Drucklufttauchgerät von Rouquayrol-Denayrouze war seiner Zeit ein halbes Jahrhundert voraus.

Um die Nachteile auszugleichen wurde schon früh vorgeschlagen, die Luftkammer des Regulatorapparates zu vergrößern und/oder mit sehr hoch komprimierter Druckluft zu füllen, um so einen genügend großen Luftvorrat für die Tauchgänge bereitzuhalten und auf Pumpe und Luftschlauch verzichten zu können. Man baute dazu einen 35 Liter fassenden Tank. Mit diesem Luftvorrat konnte man kurz in eine Tiefe von 40 Meter abtauchen oder über eine halbe Stunde in 10 Meter Tiefe arbeiten. Mit solchen Apparaten sind dann in Bergwerksschächten, welche voller Wasser waren, in bis zu 40 Meter Tiefe Reparaturarbeiten an Pumpen ausgeführt worden.

In der Praxis wurde mit den oberflächenversorgten Geräten von Rouquayrol-Denayrouze nur sehr selten in Tiefen über 30 Meter getaucht. Für grössere Tiefen reichten die Pumpen einfach nicht aus. Das limitierende technische Bauteil war die Pumpe, da mit zunehmendem Druck, bedingt durch die oftmals mangelhafte Abdichtung zwischen Pumpenkolben und Zylinder, deren Verluste immer grösser wurden. Experimente haben ergeben, dass die Verlustleistung der Pumpe ab etwa 7 bar Druck bis zu 73% erreichte!

Benoit Rouquayrol sowie Auguste Denayrouze haben die Tauchtechnik einen bedeutenden Schritt weitergebracht: 1860 hatte Rouquayrol einen ein-

stufigen, bedarfsgesteuerten Druckluftregler für Atemgeräte gebaut und ab 1864 in Verbindung mit einem autonomen Druckluftgerät zu Tauchzwecken praktisch eingesetzt. Rouquayrol und Denayrouze lebten leider in einer Epoche, in der man Luft nur bis zu einem zu geringen Druck komprimieren und transportieren konnte. Aber es ist unbestreitbar ihr Verdienst, schon 1864 das moderne, autonome Tauchgerät in den Grundzügen gebaut und eingesetzt zu haben.

Das Regulatorgerät von Rouquayrol-Denayrouze war bis etwa 1912 in den Kriegsmarinen fast aller Staaten, mit Ausnahme Englands, offiziell vorgeschrieben. Ab 1912 wurde bei der deutschen Marine das von der Firma Siebe, Gormann & Co. verbesserte, englische Helmtauchgerät eingeführt.

All die oben genannten Gründe trugen dazu bei, dass man nach und nach wieder dazu überging, den oberflächenversorgten Helmtaucheranzug zu verwenden. Bis 1922 wurden die Regulatorgeräte gebaut, und insgesamt wurden mehr als 1.500 Stück von der Firma Charles Petit und René Piel, der Nachfolgegesellschaft der 1865 gegründeten Firma Rouquayrol-Denayrouze, verkauft.[41] In der Heimatstadt der Erfinder, Espalion am Lot, wurde inzwischen ein „Museum des Taucheranzuges" eröffnet, in dem viele Originalstücke der beiden Pioniere zu bewundern sind. In der Sammlung des Deutschen Bergbaumuseums, Bochum, befinden sich ebenfalls noch drei Hochdruckgeräte von Rouquayrol-Denayrouze.

[41] Rouquayrol und Denayrouze kauften 1875 den französischen Tauchgerätehersteller Joseph-Martin Cabirol auf und gründeten eine neue Firma, die unter verschiedenen Namen (u.a. „Société des Specialités Mécaniques Réunies") fortgeführt wurde. 1895 wurde sie von Charles Petit übernommen, der sich 1920 mit René Piel zusammenschloss. Ab 1930 führte René Piel das Unternehmen bis 1965, als es seine Tätigkeit einstellte, alleine.

Die bedarfsgesteuerten Atemregler des 20. Jahrhunderts

Nachdem im 19. Jahrhundert die technologischen Grundlagen für den bedarfsgesteuerten Atemregler geschaffen und er auch bei den verschiedensten Anwendungen mit Erfolg - teilweise Jahrzehnte lang wie von Rouquayrol-Denayrouze - über und unter Wasser praktisch eingesetzt worden war, blieb es dem 20. Jahrhundert vorbehalten, ihn für den Alltagsgebrauch weiterzuentwickeln und im grossen Stil zu vermarkten.

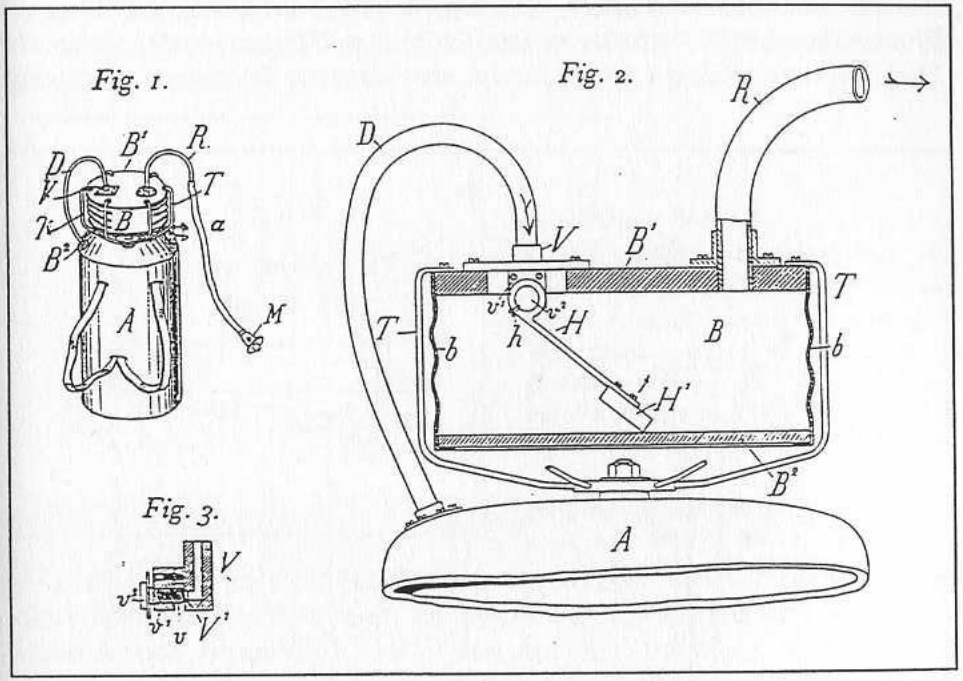


Abbildung 32:
Carl Drexler, Franz Welleba und Richard Klinger, 1894.

An dieser Stelle verdient zunächst noch der Atemregler der Österreicher Carl Drexler, Franz Welleba sowie Richard Klinger Erwähnung.[42] Sie hatten 1894 einen Atemregler erfunden, der oben auf der Druckluftflasche montiert wurde. Er war weniger für Unterwasser als vielmehr für den Einsatz in Bergwerken und unatembarer Luft gedacht. Die Vorrichtung bestand aus einem Druckluftbehälter, der auf dem Rücken zu tragen war, und einem bedarfsge-

[42] Patent DE 83.152 vom 09. August 1894.

steuerten Atemregler. An dem Gerät sollte ein einfaches Mundstück oder eine Gesichtsmaske mit zwei entgegengesetzt wirkenden Einwegventilen angebracht werden. Durch das Einatmen entsteht in der Atemkammer ein Unterdruck, der eine Gewichtsscheibe anhebt und die blasebalgartige Membrane ähnlich einer Ziehharmonika zusammenzieht. Der bewegliche Boden hebt einen Hebel an, welcher bei seiner Drehbewegung um sein Lager Bohrungen freigibt, durch die Druckluft aus dem Vorratsbehälter in die Atemkammer strömt. Besonders interessant ist hierbei, dass auch diese Konstruktion eine blaseartige Membrane nach dem Vorbild von Charles Combes vorsah.

Eine andere Konstruktion für ein bedarfsgesteuertes, unabhängiges Drucklufttauchgerät stammt von dem Deutschen Richard von der Heide von 1922. Er hatte 1920 ein Patent für ein unabhängiges Tauchgerät eingereicht

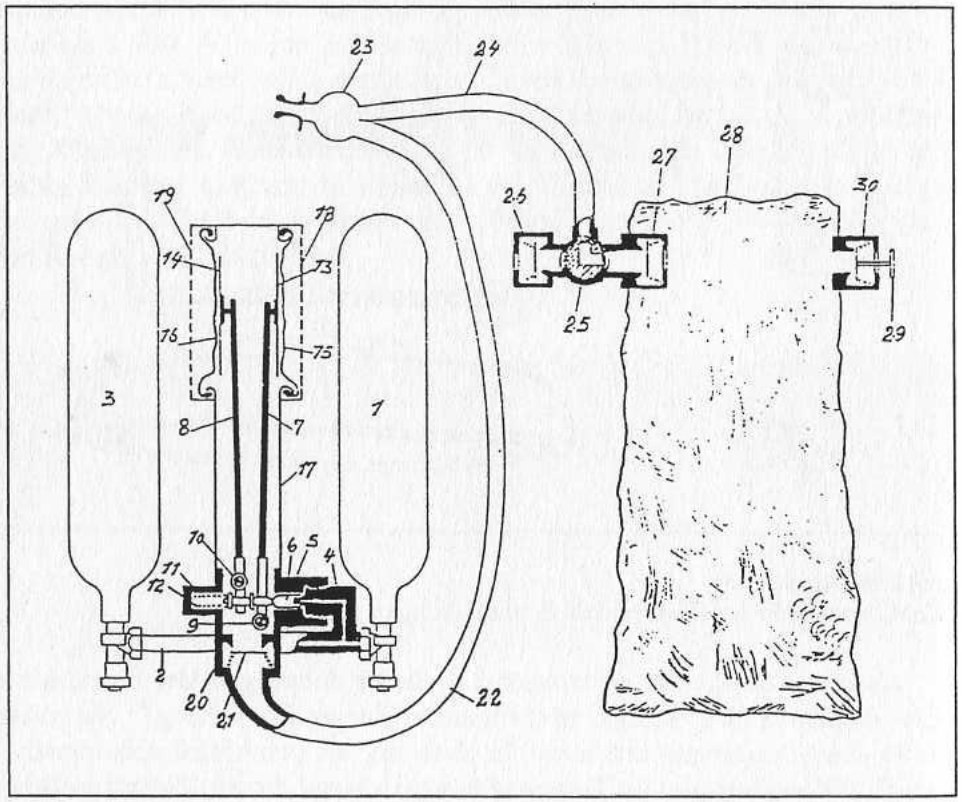


Abbildung 33:
Das Druckluftgerät von Richard von der Heide, 1922, mit Druckregler und Tauchbeutel.

und es 1922 ergänzt.[43] Seine erste Konstruktion umfasste ein Nitrox-Kreislauftauchgerät mit Atmungsbeutel und Reinigungsvorrichtung. Seine zweite behandelte ein bedarfsgesteuertes, unabhängiges Drucklufttauchgerät. Der Umgebungsdruck wirkt auf einen trommelförmigen Atmungsbeutel in Gestalt von zwei Membranen, der zwischen den beiden Flaschen angeordnet ist und innen ein Hebelsystem enthält. Das Hebelsystem in dem einstufigen Atemregler ist so gelagert, dass das konische Ventil eine möglichst lineare Bewegung ausführt und nicht verkantet. Bei Unterdruck in der Atemkammer strömt frische Luft durch das Mundstück zum Taucher. Die Ausatemluft kann der Taucher durch Umlegen eines Dreiwegehahns wahlweise entweder in einen Auftriebsbeutel (Tarierhilfe) ausatmen oder ins Umgebungswasser abgeben.

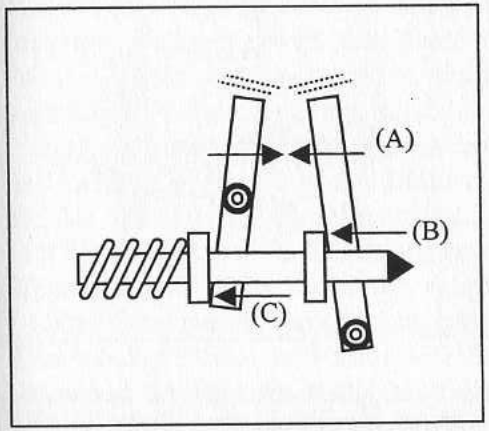


Abbildung 34:
Detailskizze zu der gelungenen Hebelmechanik des Reglers von Richard von der Heide: Durch die entgegengesetzte Lagerung wird bei einem Zusammenziehen der beiden Hebel ein Verkanten des Ventils vermieden. Die Kraft greift auf beiden Seiten des Ventils gleichmässig an und sorgt so für eine lineare Führung.

Man erkennt an der Ventilführung von Richard von der Heide, wie gut durchdacht manche Atemregler zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren, und wundert sich gelegentlich, wenn man auf Konstruktionen dieser Periode stösst, die rückständig waren und die vorhandenen Errungenschaften ignorierten. Dazu sollen hier zwei Beispiele aufgeführt werden: eines aus Japan und eines aus Frankreich.

Das in Europa bisher kaum bekannte Ohgushi-Tauchgerät wurde ab 1918 in Japan häufig von Perlentauchern benutzt.[44] Dem Patent zufolge wurde die Druckluft - entweder aus einem Druckluftbehälter mit Absperrventil und einstellbarem Reduzierventil, den der Taucher auf dem Rücken trug, oder von der Pumpe an der Oberfläche - zunächst in einen flexiblen Beutel, der wie ein breiter Gürtel um die Hüfte gewunden war, geleitet. Hier erfolgte eine Pufferung sowie die Angleichung an den Umgebungsdruck, die in den modernen

[43] Patente DE 413.332 vom 22. April 1920 und DE 426.458 vom 15. November 1922.
[44] Patent US 1.331.601.

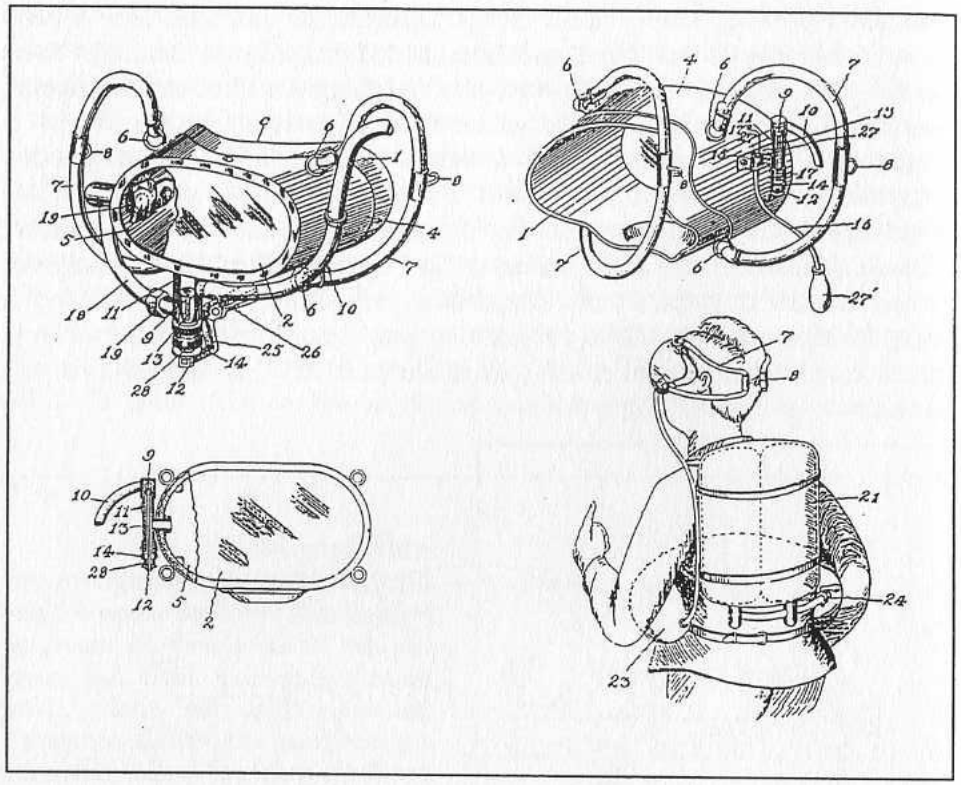


Abbildung 35:
Das japanische Tauchgerät von Ohgushi mit dem mechanischen (links) und hydraulischen (rechts) Regler, 1918.

Atemreglern durch die Membrane ermöglicht wird. Das Druckreduzierventil war von dem Taucher bei der autonomen Version in Abhängigkeit von der jeweiligen Tiefe laufend nachzuregulieren.

Das eigentliche Gerät mit dem Ventilmechanismus gleicht optisch unseren heutigen Tauchermasken. Es bestand zunächst aus einer elliptischen Metallmaske mit großem Fenster und Gummidichtrand, die Augen und Nase bedeckte, der Mund war frei. Unterhalb des Maskenkörpers ist in einer Ebene mit dem Mund ein sehr einfacher Ventilmechanismus befestigt, welcher die Druckluftzufuhr steuern sollte. Aus dem Ventil ragten zwei kleine Hebel in Richtung des Mundes. Einer der Hebel ist fest, der zweite ist beweglich.

Die Druckluft floß anfangs von dem Puffersack um die Hüfte durch dieses Ventil und einen nachfolgenden kleinen Schlauch seitlich in die Tauchermaske hinein. Das eigentümliche und geistreiche an dem Ohgushi-Tauchgerät war

dieses Ventil und seine Betätigung. Anders als bei vielen Erfindern, die die Luftzufuhr lungenautomatisch oder manuell, durch Öffnen und Schließen eines Handrades, regulierten, hatte der Ohgushi-Taucher das Ventil im Mund zwischen seinen Zähnen. Zur Einatmung bzw. Öffnen des Ventils waren also mit den Zähnen die beiden Hebel des Ventils im Mund zusammenzupressen, so daß die Druckluft in den Maskenkörper einströmen und durch die Nase eingeatmet werden konnte. Zur Ausatmung wurden die Zähne geöffnet, folglich das Ventil geschlossen und der Luftzustrom gestoppt, so daß durch den nun offenen Mund ausgeatmet werden konnte. Es ist leicht vorstellbar, welche angestrengte Aufmerksamkeit dieser Steuerungsvorgang bei schwerer Arbeit oder Strömung vom Taucher abforderte!

Das Patent beschreibt noch eine Alternative zu dem mechanischen Ventil. Sie besteht darin, daß es auch eine hydraulische Betätigungsmöglichkeit gab. Bei dieser Variante wird das Ventil nicht mehr unten sondern seitlich am Maskenkörper angebracht und besitzt statt den beiden Hebelchen eine kleine, ölgefüllte Gummikugel, die durch einen dünnen Gummischlauch mit dem Ventil verbunden war. Statt den beiden Hebelchen hatte der Taucher nun diese Gummikugel zwischen den Zähnen, auf die er je nach Bedarf beißen konnte. Das Ventil wurde daraufhin hydraulisch geöffnet, und Druckluft strömte in den Maskenkörper. Die Einatmung erfolgte ebenso wie mit dem mechanischen Ventil durch die Nase, die Ausatmung durch den geöffneten Mund.

Das Steuerventil von Ohgushi hatte eine Vielzahl Nachteile und Risiken. Das ständige Öffnen und Schließen der Zähne wird vielleicht über einen Zeitraum von 15 Minuten lästig, aber dennoch möglich gewesen sein. Weitaus schwieriger war aber wohl das Halten der Gummikugel im Mund, ohne daß Wasser eindringen konnte und es zu Hustenreizen kam. Die Maskenvariante mit dem mechanischen Ventil hatte immerhin eine einfache Vorrichtung, um die Position des Ventils und des Hebelmechanismus auf Kopfgröße bzw. Mundposition verschiedener Taucher anpassen zu können.

Es klingt unglaublich, aber mit diesen Tauchgeräten wurden sehr grosse Tiefen von bis zu 100 Metern erreicht! Sicher ist, daß das Gerät wohl nur von sehr geschickten und disziplinierten Tauchern benutzt wurde, die ihre Atmung - vielleicht durch Konzentrationsübungen - unter Kontrolle hatten. Sie mußten die verschiedenen Situationen unter Wasser beherrschen und brauchten Fingerspitzengefühl, um niemals eine größere Belastung einzugehen, als ihnen ihr Atemgerät erlaubte.

Der „Beiß-und-Fließ-Mechanismus" des japanischen Ventils hinkte der Entwicklung der Tauchtechnik weit hinterher. Aber auch in Europa, und sogar in Frankreich, dem Vorreiter der autonomen Taucherei mit Druckluft, wurden zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch rückständige Tauchgeräte ge-

baut: Yves Le Prieur hatte 1926 ein autonomes Drucklufttauchgerät gebaut, das auf dem Free-flow-Prinzip des kontinuierlichen Luftzuflusses, also ohne bedarfsabhängige Druckluftregulierung, beruhte. Das Gerät stammte ursprünglich von Maurice Fernez aus dem Jahre 1912 und war ein einfaches Schlauchtauchergerät. Der Taucher hielt dabei ein Gummimundstück zwischen seinen Lippen. Von dem Entenschnabelventil am freien Ende des Mundstückes entwich die Ausatemluft in das Wasser, während über eine Schlauchleitung an seinem anderen Ende ein Luftschlauch nach oben zu einer einzylindrigen Pumpe führte.

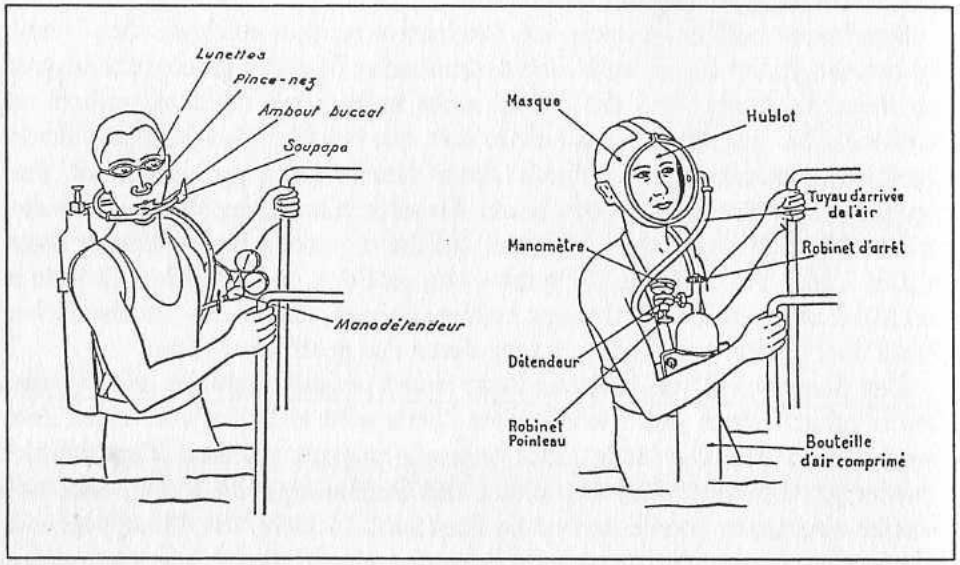


Abbildung 36:
Links die erste Version von Yves le Prieur, 1926, und rechts die ab 1933 eingesetzte Version mit Vollgesichtsmaske. Aus: *Le Prieur, Yves: Premier de plongée.* Paris, 1956.

Der 10 Meter lange, mit Kupplungen versehene Schlauch hatte nur einen Durchmesser von etwa 15 Millimeter. Auf dem Rücken trug der Taucher zwischen Pumpe und Mundstück einen kleinen, elastischen Gummibeutel in der Größe eines Fußballs als Druckkompensator. Der aufgepumpte Gummibeutel erinnerte an einen Dudelsack und verursachte einen ständigen, unter Umgebungsdruck stehenden Luftzustrom zum Taucher. Die überschüssige Luft strömte ständig durch das Ventil in das Wasser ab, ebenso wie die Ausatemluft. Wollte der Taucher atmen, mußte er nur den ständig durch das

Mundstück hindurchziehenden Luftstrom inhalieren. Außer einer leichten Begurtung und dem Gummibeutel zwischen den Schulter trug der Taucher noch eine Nasenklemme, eine Taucherbrille, einen Gewichtsgurt sowie Ledersandalen mit Bleisohle. Das Gerät eignete sich nur für geringe Tiefen.

Dieser einfache Apparat begeisterte Le Prieur. Er dachte sich, wie vorteilhaft es doch wäre, wenn der Taucher statt der Oberflächenversorgung die Atemluft direkt in einer Duckluftflasche mit sich führte: Dann war er ganz von der Schlauchleitung und von der Überwasserverbindung unabhängig und konnte sich frei umherbewegen. Le Prieur suchte Maurice Fernez auf und machte ihm den Vorschlag, an seinem Gerät eine Druckluftflasche und eine Vorrichtung zur Verminderung des Gasdruckes anzubringen. Als Druckreduzierventil nutzte er einen handelsüblichen Regler, der eine Gummimembrane besaß und sich für diese Zwecke eignete. Der Wasserdruck wirkte auf die Membrane und damit auf ein Hebelsystem, daß eine Luftdüse öffnete oder verschloß. Ein geringer Überdruck, der die Atmung bequemer machte, konnte am Ventil nach Belieben eingestellt werden. Die Stahlflasche fasste 4 Liter unter einem Druck von 150 bar, das gesamte Gerät wog etwa 7 Kilogramm. Der Luftvorrat genügte für einen Aufenthalt von 20 Minuten in einer Tiefe von 7 oder 8 Metern und für eine Viertelstunde in 12 Metern Tiefe. Zwei Manometer ermöglichten die Kontrolle des Flaschen- und des Atemluftdruckes.[45]

Le Prieur tauchte im Sommer 1925 das erste Mal im Meer vor seiner Villa in Saint Raphael. Im August 1926 wurde dann das schlauchlose Tauchgerät bei einem Tauchgang im Bad von Tourelles in Paris vorgeführt, und Le Prieur ging und hüpfte 10 Minuten lang unabhängig von einer von oben kommenden Leitung unter Wasser umher. Er hatte die Flasche mit Gurten auf dem Rücken befestigt. Das handregulierte Ventil reduzierte den Flaschendruck etwa auf den Umgebungsdruck. Eine Nasenklammer und Augengläser vervollständigten die Ausrüstung.

Aber trotz seiner Vorteile plante Le Prieur weitere Verbesserungen am Tauchgerät: Er wünschte sich vor den Augen, der Nase und dem Mund einen Luftraum. 1933 baute er sich deshalb eine Maske mit Glasscheibe. Auf der linken Seite der Maske belüftete die ankommende Luft permanent das Innere, und man atmete genauso wie an der freien Luft. Die überschüssige Luft entwich durch den Rand zwischen Gesicht und Maske ins Wasser. Die Flasche wurde vom Rücken auf die Brust verlagert, wo sie mit einem Gurt um Hals und Bauch gehalten wurde. Optisch erinnert dies an die Erfindung von Karl Heinrich Klingert von 1797.

[45] Patent F 633.421.

Besonders interessant ist die Funktion des von ihm hierbei verwandten Atemreglers. Der Taucher erhielt auch bei diesem Spülgerät die Luft durch einen Druckschlauch, der von einem kleinen Druckminderer kam, welcher den Flaschendruck reduzierte. Er nutzte das Prinzip mit einer einseitig dem Umgebungsdruck ausgesetzten Membrane wie auch schon andere vor ihm. Diese kleine Membrane wirkte auf ein Hebelsystem und öffnete entsprechend der Tiefe eine Luftdüse verschieden weit. Das Grundprinzip war richtig, allerdings entstand dadurch, daß Le Prieur kein spezielles Ausatemventil vorsah, ein Problem.

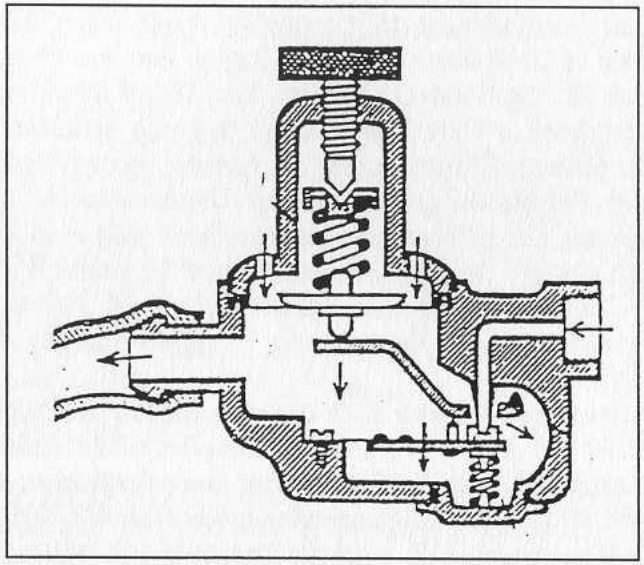


Abbildung 37:
Der Regler von Yves le Prieur, 1933. Aus: *Rebikoff, Dimitri: Exploration sous-marine*. Paris, 1952.

Selbst wenn der Taucher aufrecht stand reichte der Druck - anders als bei dem kleinen Mundstück von 1926 - bei der Vollgesichtsmaske nun nicht mehr aus, um die mit starken Gummibändern um den Kopf befestigte Maske anzuheben und einen kontinuierlichen Luftstrom zu ermöglichen. Damit die Luft ununterbrochen und lageunabhängig in die Maske einströmen konnte, mußte der Taucher durch eine kleine Verstellschraube, die auf die Vorspannung der Membrane wirkte, von Hand den Luftstrom verstärken. Der Druckregler mußte nämlich einen Überdruck erzeugen, um das Eindringen von Wasser in die Maske zu verhindern, sie vom Außendruck zu entlasten, ein reibungsloses Einatmen durch Mund und Nase und vor allem das Ausatmen durch den

Maskenrand zu ermöglichen. Der Regler hatte auch wegen der geringen Oberfläche der Membrane diesen spezifischen Nachteil, daß der Taucher laufend die Luftabgabe nachregulieren mußte. Durch diesen ständigen Überdruck ging ein großer Teil der kostbaren Luftreserve ungenutzt verloren. Das dauernde Nachregulieren war auch der Hauptgrund, warum die Druckluftflasche vom Rücken auf den Bauch verlagert wurde, da so der Taucher einen besseren Zugriff zum Handventil des Reglers bekam.

Ein Manometer unterrichtete den Taucher ständig über den Druckluftvorrat in seiner Flasche, ein zweiter über den Niederdruck der Atemluft. Wegen der großen Verluste wurde der Flascheninhalt von 4 auf 6,5 Liter fast verdoppelt; auch konnte sie inzwischen mit bis zu 180 bar gefüllt werden. Mit der Vollgesichtsmaske von 1933 und der größeren Druckluftflasche konnte Le Prieur 20 Minuten auf 12 Meter Tiefe bleiben. Aus Sicherheitsgründen beschränkte er später den Inhalt der Druckluftflasche auf etwa 1.000 barLiter. Das ergab Tauchzeiten von 30 Minuten dicht unter der Oberfläche, 20 Minuten in 7 Meter Tiefe und 10 Minuten in 12 Meter Tiefe. Von dem Aufsuchen größerer Tiefen wurde abgeraten, Le Prieur empfiehlt, nicht tiefer als 12 Meter hinabzusteigen. Die aktuelle Tiefe konnte recht genau von dem Niederdruck-Manometer abgelesen werden, wenn er feinjustiert war. Zeigte er beispielsweise einen Niederdruck von 2 bar an, war man auf weniger als 20 Meter Tiefe.

Ab 1933 begann Le Prieur damit, seine neue und verbesserte Erfindung zu propagieren. Er führte das Tauchgerät der Presse und den Touristen der Riviera sowie in Paris, St. Malo, Rouen, Toulon und Genf vor, erregte überall Aufsehen und Interesse und wurde so zum Begründer des „Sporttauchens für Jedermann". Im Juni 1934 demonstrierte Le Prieur das Gerät im Schwimmbad von Trocadero bei einem Tauchgang in 6 Meter Tiefe. Das neue Gerät wurde aber nicht nur als Freizeitgerät für Amateurtaucher sondern auch für ernsthafte Arbeiten eingesetzt: Am 25. Februar 1935 übernahm die französische Kriegsmarine sowie die französische Handelsmarine das Gerät in ihren Bestand. Bei einer großen Gala am 16. Mai 1936 demonstrierte Le Prieur persönlich dem französischen Marineminister und der versammelten Presse die Vorzüge seines Tauchgerätes. Kurze Zeit später, im Jahre 1936, untersuchte der französische Archäologe Jean-Jacques Pittard mit Hilfe des „appareil de plongée autonome Le Prieur" das Pfahlfeld von La Vorze am Genfersee. Er markierte damals über 400 Pfähle mit Bojen und ließ sie von der Luft aus fotografieren.

Der Apparat von Le Prieur bestach durch seine Einfachheit, war aber noch nicht perfekt: Neben dem Vorteil, den die autonome Druckluftversorgung zwar bot war es sehr lästig, daß der Flaschendruck manuell an die jeweilige

Tiefe nachreguliert und feinabgestimmt werden mußte. Die größte Schwachstelle des Apparates war aber, daß durch den ständigen Luftstrom bis zu 25% des Atemluftvorrates während der Atempausen verloren ging und er nicht nur unpraktikabel sondern dadurch auch ineffizient wurde.

Le Prieurs Aussage, die Luftvergeudung könnte man durch ständiges, genaues Regeln an der Einstellschraube reduzieren, kann nicht darüber hinwegtäuschen, daß ein solches autonomes Drucklufttauchgerät mit kontinuierlichem Luftstrom grundsätzlich eine wesentlich geringere Effizienz aufweist als eines, das mit einem bedarfsgesteuerten Atemregler versehen ist und dadurch weniger Verluste hat. Die Nutzdauer des Gerätes war also verhältnismäßig kurz, allerdings dachte Le Prieur als mögliches Einsatzgebiet nicht in erster Linie an schwere Unterwasserarbeiten, sondern eher an die Freizeit, an Unterwasserjagd, Unterwasserfilm und -fotografie oder an einfache Forschungs- und Bergungsarbeit.

Trotz allem Respekt vor Le Prieurs vielen wertvollen Erfindungen und Fortschritten, die ihm zu verdanken sind, war sein autonomes Tauchgerät sowohl in der Version von 1926 mit Taucherbrille wie auch in der von 1933 mit Vollgesichtsmaske aus Perspektive der Tauchtechnik eher eine Stagnation. Einzige Weiterentwicklung war die Druckluftflasche, die Dank der Fortschritte der Druckluft- und Werkstofftechnik zu jener Zeit einen nutzbaren Fülldruck von bis zu 180 bar hatte und so einen längeren Aufenthalt ermöglichte.

In den 20er und zu Beginn der 30er Jahre ging also die Entwicklung des autonomen Drucklufttauchgerätes in die richtige Richtung, aber die Situation war unbefriedigend: Le Prieur hatte endlich einen brauchbaren Druckluftvorrat, aber einen sehr unzulänglichen Atemregler, der einen ständigen Luftstrom erzeugte und von Hand nachgeregelt werden mußte. Es fehlte jetzt nur noch ein kleiner Schritt, um das autonome Drucklufttauchgerät zu optimieren: Er bestand darin, daß der Druckluftvorrat mit einem bedarfsgesteuerten Atemregler kombiniert werden mußte - dadurch wurden die Verluste in den Atempausen vermieden und die manuelle Regelung des Atemluftdruckes entfiel.

1937 wurde das autonome Tauchgerät mit bedarfsgesteuertem Atemregler von einem anderen Franzosen, und zwar von Georges Commeinhes, technisch vervollkommnet und praktisch eingesetzt. Der Erfinder ist ungerechterweise auch heute immer noch weithin unbekannt, weil er schon kurz nach dem erfolgreichen Einsatz seiner Erfindung im Zweiten Weltkrieg getötet wurde. Georges Commeinhes war ein junger, begeisterter Unterwasserjäger, dessen Vater eine bekannte und gutgehende Firma für Bergwerks- und Feuerwehrgeräte besaß, die auch Druckluft-Atemgeräte zu Rettungszwecken herstellte. Am 9. September 1935 hatte der Vater, Rene Commeinhes, ein Druckluftgerät patentieren lassen, das ursprünglich für den Einsatz in nicht-atembarer Atmosphäre wie in Minen oder bei Feuer und Rauch gedacht war. Es diente ab 1937 Georges als Grundlage für ein autonomes Tauchgerät zum amphibischen Einsatz. Es wurde im Juni 1937 vom französischen Kriegsministerium getestet und amtlich zugelassen.[46]

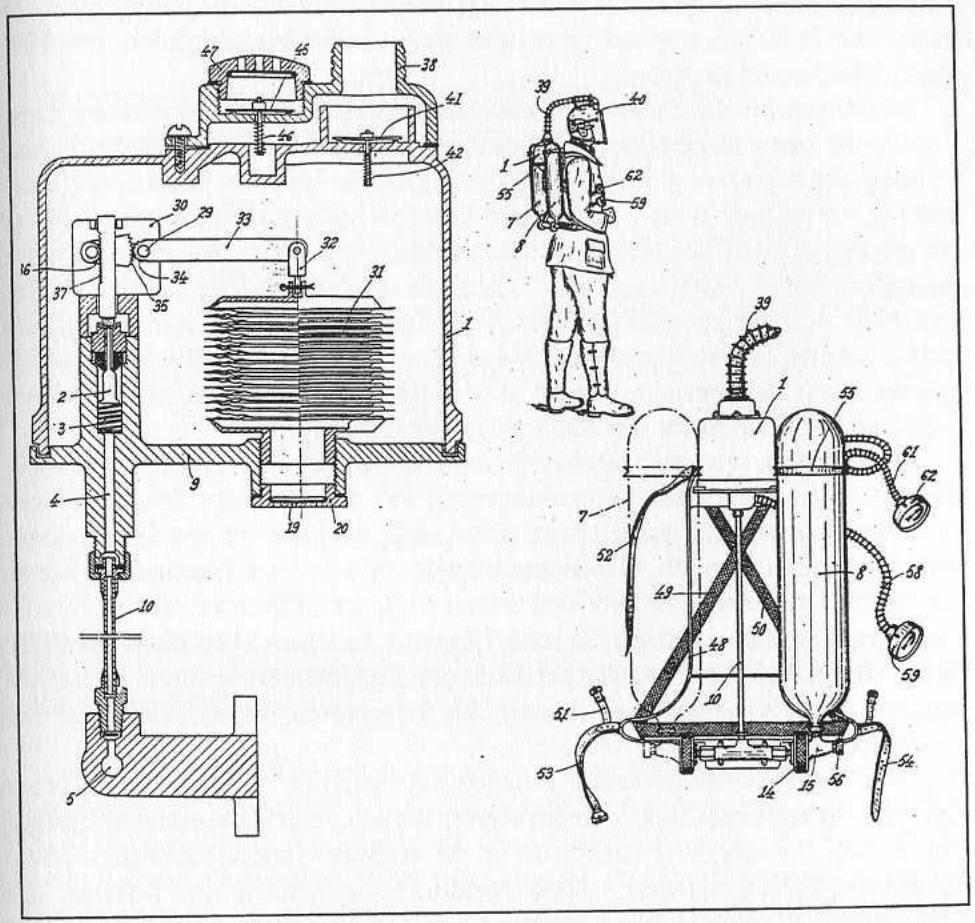


Abbildung 38:
Das Patent von Georges Commeinhes vom April 1942 (Patent F 976.590) bezog eine Anwendung zum Tauchen mit ein.

[46] Das erste Patent F 794.660 vom 09. September 1935 stammt von René Commeinhes und behandelte einen tragbaren Druckluftapparat. Georges Commeinhes beantragte die beiden Patente F 976.590 vom 29. April 1942 („Automatisches Atemgerät") sowie F 989.153 vom 07. Februar 1944 („automatischer Regler für Druckgase").

In den nachfolgenden Jahren entwickelte Commeinhes sein Tauchgerät weiter. Schließlich patentierte er am 29. April 1942 eine sehr praktikable Nachfolgeversion und wandte sie auch erfolgreich an. Das Gerät bestand aus zwei oder drei mit Gurten auf dem Rücken befestigten Druckluft-Stahlflaschen, die ein unten angebrachtes Ventil hatten, das vom Taucher selbst geöffnet oder geschlossen werden konnte. Er hatte die Möglichkeit, je nach Ventilstellung, nur aus einer oder auch aus beiden oder allen drei Flaschen gleichzeitig zu atmen.

Die Druckluft der Flaschen wurde zusammengeführt und durch ein Kupferrohr zu einem Atemregler mit einer gefalteten Metallmembrane nach dem Prinzip von Combes geleitet. Der Atemregler, der nur bei Bedarf Atemluft lieferte, wurde auf Höhe der Schulterblätter montiert und durch eine Abdekkung geschützt. Er minderte den Flaschendruck von etwa 180 bar auf Umgebungsdruck und besaß auch eine Druckanzeige. Vom Regler aus wurde die Atemluft durch einen Faltenschlauch in eine Vollgesichtsmaske aus Kautschuk geleitet, die das ganze Gesicht bis zum Kinn abdeckte. Die Ausatemluft wurde durch ein spezielles Ventil an der Maske geleitet, das auf derselben Höhe wie die Membrane des Atemreglers lag.

Commeinhes war sich darüber bewußt, wie entscheidend wichtig die Position der Membrane und des Auslassventils ist. Auf Höhe der Membrane geschieht ja die genaue Angleichung des Atemluftdruckes an den Umgebungsdruck. Durch allzugroße Höhenunterschiede zwischen der Position der Membrane und der Lunge des Tauchers entstehen Druckdifferenzen, die zu Funktionsstörungen führen können. Je nach Lage des Tauchers bläst der Atemregler dann ununterbrochen Luft ab oder kann das Einatmen erschweren. Beim Abtauchen oder Waagerechtschwimmen mit Schwimmflossen erkennt man, wie wichtig dieser Punkt ist.

Wie Commeinhes in seiner Patentschrift schreibt, ist „ein wesentliches Bestandteil der Erfindung der Atemregler, der mit einer Membrane ausgestattet ist, auf die einerseits der Druck in der Kammer, andererseits der äußere Umgebungsdruck einwirkt. Diese Membrane verursacht die Öffnung des Lufteinlasses, wenn die Druckdifferenz im Regler einen bestimmten Wert beträgt. Deshalb ist der Druckregler in Höhe des Nackens des Trägers plaziert, damit die flexible Membrane und die Maske sowie die Ausatemöffnung der verbrauchten Luft genau demselben Außendruck unterworfen sind."

Das Tauchgerät von George Commeinhes in seiner Version von 1942 hatte also einen bedarfsgesteuerten Atemregler, Druckluftflaschen sowie Vollgesichtsmaske und weist alle technischen Merkmale unserer heutigen, autonomen Tauchgeräte auf. Die Luftversorgung geschieht nur nach Bedarf, um jegliche Verschwendung zu vermeiden. Mit der 3-Flaschen-Version konnte er

bis zu 40 Minuten auf 10 Meter oder 25 Minuten auf 20 Meter Tiefe arbeiten. Am 30. Juli 1943 stellte Georges Commeinhes vor vielen Zeugen einen ersten Tiefenrekord auf, als er auf der Aussenreede von Marseille zwischen La Madrague und L'Estaque 53 Meter tief tauchte. Für den Abstieg brauchte er etwa 18 Minuten, für den Aufstieg nur 2 Minuten.

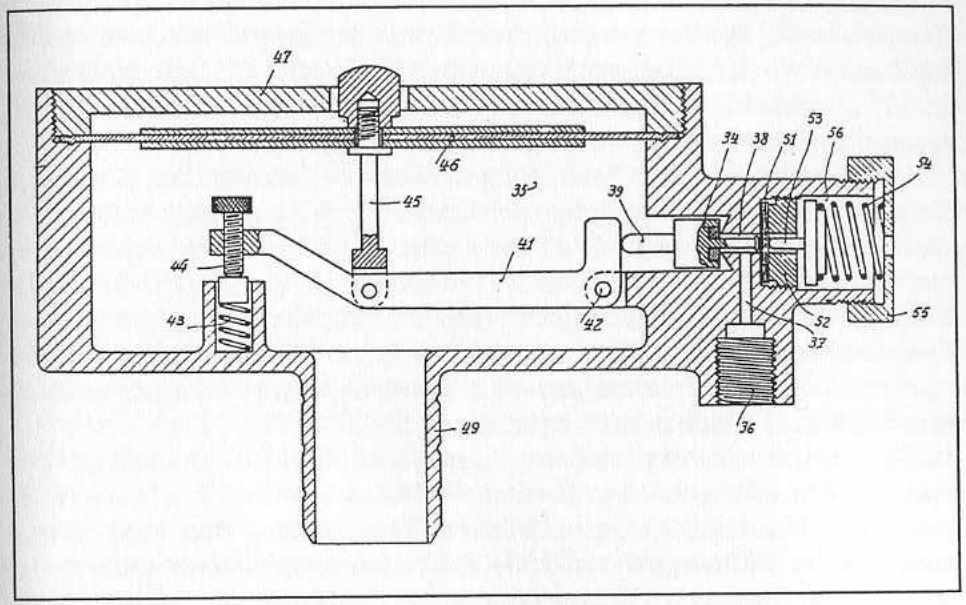


Abbildung 39:
Der von Georges Commeinhes im Februar 1944 patentierte Atemreglermechanismus. (Patent F 989.153)

Am 7. Februar 1944 beantragte Commeinhes ein neues - und gleichzeitig sein letztes - Patent für einen „verbesserten Apparat mit automatischer Druckangleichung für Druckluft, der den Druck in der ersten Stufe des Gerätes auf einem bestimmten Wert hält, obwohl der Druck in dem Reservoir niedriger wird." Commeinhes war leider kein langes Leben oder eine kommerzielle Nutzung seines Gerätes vergönnt. Nach dem Invasionstag am 6. Juni 1944 meldete er sich zur Leclerc-Armee, die die Alliierten unterstützte und mit ihnen gemeinsam gegen die deutsche Wehrmacht kämpfte. Georges war dort Unteroffizier im 501sten Regiment, wo er einen Sherman-Panzer kommandierte. Als Leclercs Armee am 23. November 1944 Fort Kleber bei Strasbourg angriff, wurde Commeinhes durch die Kugel eines deutschen Hekkenschützen am Kopf schwer verletzt und sollte in das amerikanische Feldlazarett von Bayon nahe Metz transportiert werden. Er verstarb aber noch auf

dem Transport und wurde zunächst in Bayon begraben, bevor er seine letzte Ruhestätte auf dem Militärfriedhof von Saint Maur fand.

Vieles zu der Entwicklungsgeschichte des Gerätes zwischen den Jahren 1937 und 1944 sowie seinen Einsätzen ist noch unbekannt und wurde von Commeinhes wohl mit in sein Grab genommen. Seine Tauchgänge führte er meistens bei der Familienvilla bei Houlgate in der Normandie alleine durch. Commeinhes kommt der Verdienst zu, den technologischen Fortschritt des 20. Jahrhunderts in der Druckgastechnik mit der Erfindung des bedarfsgesteuerten Atemregler aus dem 19. Jahrhunderts zusammengeführt und mehrfach praktisch eingesetzt zu haben.

In Saint Mandrier, dem Ausbildungszentrum der französischen Marine bei Toulon, werden noch heute einige der Commeinhes-Tauchgeräte aufbewahrt. Es hatte die Bezeichnung GC 42 und später GC 47 und ging wegen seines großen Potentials auch in industrielle Produktion. Es wurde aber nur wenige Jahre gebaut, da 1943, fast zeitgleich mit dem Rekordtauchgang von Georges Commeinhes, ein anderer Franzose ein ähnliches Gerät baute und den Markt erstürmte: Sein Name ist Jacques-Yves Cousteau, und der eingängige Markenname seines Tauchgerätes „Aqualunge".

Der französische Marineoffizier Jacques-Yves Cousteau beschäftigte sich schon in den Jahren vor dem Zweiten Weltkrieg mit der Problematik eines zuverlässig funktionierenden, autonomen Tauchgerätes, und hatte bereits einige, leider überwiegend schlechte Erfahrungen mit solchen Geräten gesammelt: Im Sommer 1938 erprobten er die Tauchaurüstung von Le Prieur mit der Vollgesichtsmaske. Mit ihr erlebte er die ersten großen Augenblicke müßigen Umherschweifens unter Wasser, allerdings erlaubte der ständige Luftverlust nur sehr kurze Tauchgänge, und das laufende Nachregulieren war lästig. Bei einem Versuch mit einem Sauerstoff-Kreislaufgerät wurde Cousteau ohnmächtig und konnte sich nur mit Schwierigkeiten retten. Kaum hatte sich Cousteau von dem Tauchunfall erholt, brach der Zweite Weltkrieg aus, und erst 1940 fand er wieder die Möglichkeit, zu tauchen.

Cousteau schrieb später in dem Buch „Die schweigende Welt", daß er sich nicht mehr damit abfinden wollte, als Helmtaucher „mit gewaltig schweren Stiefeln mühsam nur ein paar Meter stapfend, von 'Nabelschnüren' belästigt und den Kopf in einen metallenen Käfig gesperrt, ein wahrer Krüppel in einem unwegsamen Land zu sein."

Auf der Suche nach einem geeigneten Hilfsmittel kam ihm seine familiäre Verbindung zu dem französischen Druckgasunternehmen „Société de l'Air Liquide" zugute. Der Vater seiner Ehefrau Simon Melchior war der Direktor des internationalen Konzerns mit Sitz in Paris. Dieser brachte Cousteau im Dezember 1942 mit dem Ingenieur Emile Gagnan, einem franko-kanadischen

Fachmann für Industrie-Gasausrüstungen, zusammen. Gagnan hatte während des Zweiten Weltkrieges an der Entwicklung der Sauerstoff-Kreislaufgeräte für die französische Luftwaffe mitgearbeitet und am 21. November 1940 gemeinsam mit Robert Bollard, einem anderen Ingenieur der L'Air Liquide, ein Patent auf einen „Gasregler mit Membrane" eingereicht.[47] Dabei handelte es sich um einen herkömmlichen bedarfsgesteuerten Gasdruckregler mit Membrane, aber besonders empfindlichem Ansprechverhalten.[48]

Automatische Gasdruckregler waren in diesen Jahren bevorzugtes Objekt von Weiterentwicklungen, denn wurden sie bislang nur bei Atem- und Tauchgeräten sowie in der Gaslichttechnik eingesetzt, so erhielten sie im Zweiten Weltkrieg ein weiteres Anwendungsgebiet: Und zwar bei den sogenannten „Holzvergasern", einer Antriebstechnik für Autos, bei denen zum Einsparen von Benzin das Gas von brennender Holzkohle sowie natürliches Gas nutzbar gemacht wurde.

Im zweiten Weltkrieg zählte neben lebenswichtigen Dingen auch Treibstoff zur Mangelware. Aus diesem Grund wurden in Deutschland und Italien viele zivile Autos, Busse und Lastkraftwagen umgebaut, um sie nicht mit dem kriegswichtigen Dieselkraftstoff oder Benzin, sondern festen Brennstoffen wie Holz, Koks und Kohle anzutreiben. Dieses Antriebsprinzip, das im wesentlichen auf den französischen Chemiker Georges Imbert (1884-1950) zurückgeht, beruht darauf, statt Benzin oder Dieselkraftstoff die bei der Verschwelung von Holz zu Holzkohle entstehenden Gase zum Antrieb des Motors zu benutzen.[49]

Der „Holzvergaser" besteht zunächst aus einem grossen, doppelwandigen Zylinder, dem Generator oder „Holzbrenner". Oben wird das kleingeschnittene Holz eingefüllt und von unten entzündet. Die entstehende Holzkohle sackt auf den Boden ab, wo sie vergast. Zwischen den Zylinderwänden steigt das brennbare Gas auf und wird durch Rohre zu einem zumeist vorne plazierten

---

[47] Patent CH 234.418 vom 30.10.1941.

[48] Der Aufbau des bedarfsgesteuerten Reglers von Gagnan folgt früheren Patenten, war in verschiedenen Details aber doch auch weiterentwickelt: Bei den früheren Geräten wurde beispielsweise die Membranbewegung direkt auf ein Ventil übertragen, weshalb damals ein großer Membrandurchmesser erforderlich war, um das Ventil zu öffnen. Der Regler von Gagnan dagegen verwandte ein zwischengeschaltetes Hebelsystem, um die geringe Membrankraft in eine starke Kraft zu übersetzen, bei gleichzeitiger Verringerung des Weges. Gagnan kam dadurch zu einer wesentlich kleineren Baugröße als der eher unhandliche Regler von Rouquayrol.

[49] Die bedeutete ein Rückgriff auf frühere Konstruktionen, denn bis zur Erfindung des Oberflächenvergasers von Wilhelm Maybach in 1875 wurden Motoren hauptsächlich durch Leuchtgas angetrieben.

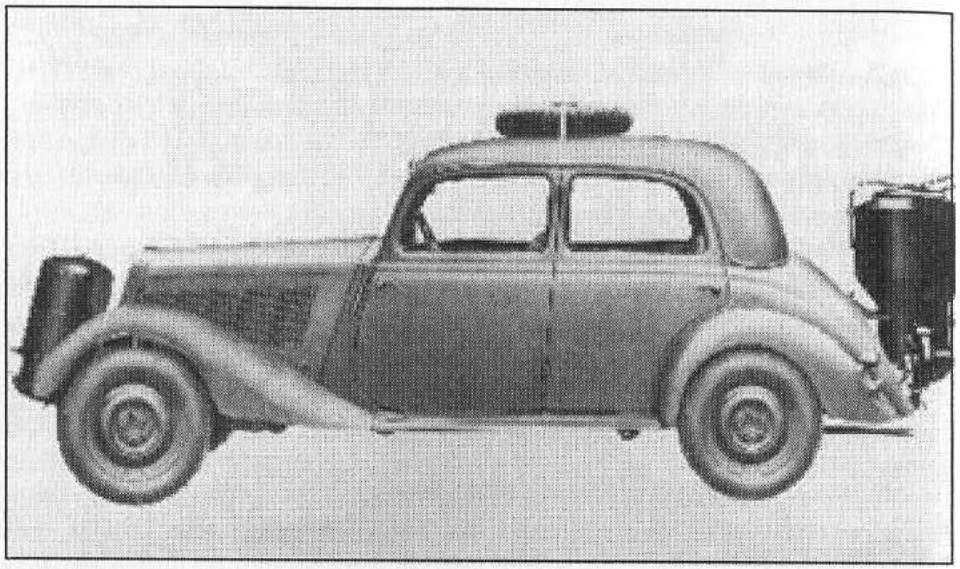


Abbildung 40:
Der Vorteil des Holzgaswagens, und das war der Hauptgrund für seine von den Nationalsozialisten geförderte Verbreitung in den dreissiger und vierziger Jahren, bestand in der Nutzung einheimischer Brennstoffe und der damit verbundenen Einsparung von wertvollem Mineralöl. Da eine Füllung des Holzvergasers kaum für eine grössere Strecke ausreichte (ein Liter Benzin musste durch 2,5 kg Holz ersetzt werden) mussten bei jeder Fahrt auf dem Dach weitere Säcke mit Holz mitgeführt werden. Mit dieser Reserve konnte auch auf offener Strecke „nachgetankt" werden. Die Fahrer konnte man damals übrigens mit Recht als „Chauffeur" bezeichnen, denn Chauffer heisst, wörtlich übersetzt, Heizer. Die Alternative in den Städten bestand in der Nutzung des Stadtgases, das in Behältern auf den Busdächern oder in eigenen Anhängern mitgeführt wurde. Wegen seines hohen Gewichtes, der aufwendigen Reinigung, der geringen Reichweite und seiner Störungsanfälligkeit war der Holzvergaser sehr unbeliebt.
Die Illustration zeigt einen Holzgaswagen der Marke Mercedes-Benz 170 V Limousine, Baujahr 1942. Hinten der Generator, in den das Holz eingefüllt und verbrannt wurde, vorne vor der Kühlerhaube der Druckbehälter für das Gas.
In der deutschen fahrzeugtechnischen Literatur dieser Zeit gibt es viel Material über diese heute vergessene Technik. Für einen einführenden Überblick vgl. Automobiltechnische Zeitschrift *18 (1940) und 18 (1941). Vgl. auch* Eckermann, Erik: *Alte Technik mit Zukunft. Die Entwicklung des Imbert-Generators.* München, 1986.

Gaskessel geführt. Anschliessend gelangt es zum Vergaser, wo es mit Luft vermischt, den leicht modifizierten Benzin- oder Dieselmotor antreibt.[50]

Im deutschsprachigen Raum Europas nannte man diese Fahrzeuge „Generatorgaswagen" oder einfach „Gaswagen". Verbrannten sie Holz, was die meisten von ihnen taten, so wurden sie auch „Holzgaswagen" genannt. Im englischsprachigen Raum wurden diese Fahrzeuge „producer gas vehicles" (Erzeugergas-Fahrzeuge) genannt. Sie hätten genausogut auch „Giftgaswagen" genannt werden können, zumal sie genau dies waren: Das Gas, das sie erzeugten, hatte einen hohen Anteil Kohlenmonoxid und war äußerst giftig. Der Betrieb dieser Fahrzeuge erforderte besondere Sicherheitsmaßnahmen sowie besondere Führerscheinübungen und -prüfungen für die hunderttausenden Fahrer, die diese Fahrzeuge im deutsch-besetzten Teil Europas tagein, tagaus fuhren. Die Gesamtzahl der Generatorgas-Fahrzeuge war bis zum Kriegsende im ehemals deutsch-besetzten Europa auf mehr als 500.000 angestiegen.

Bei dem Holzvergaser selbst handelte es sich um einen sogenannten „Ventilvergaser", eine Variante der Einspritzvergaser, die ohne Schwimmervorrichtung auskommen. Die Spritzdüse wird durch ein Ventil verschlossen, das durch die unter der Saugwirkung des Unterdruckes in die Zylinder einströmende Luft geöffnet wird, so dass der Treibstoff durch die Wirkung des Überdruckes im Vorratsbehälter sowie Unterdruck im Vergaser ausströmt. Sehr schnell kam man hier zu dem Einsatz von Membranen, da der relativ geringe Unterdruck des Ansaugens durch eine grosse Membranoberfläche ausgeglichen werden konnte. Diese Membranvergaser entstanden um 1915, als man spezielle Vergaser für Flugmotoren suchte. Vergaser mit Schwimmerkammer waren ungeeignet da sie nicht in jeder Lage korrekt arbeiteten.

Nach dem Treffen mit Cousteau baute Emile Gagnan seinen Gasdruckregler für den Einsatz unter Wasser um. Im Februar 1943 konnte Cousteau in der Marne bei Paris den ersten Tauchversuch unternehmen. Der Apparat funktionierte anfänglich leider nicht ganz so wie er sollte, denn es gab Probleme, wenn Cousteau in vertikaler Lage tauchte. Dann blies der Atemregler stark ab oder lieferte nur wenig Luft. Dieses Problem der unregelmäßigen Luftzufuhr, das durch Druckdifferenzen zwischen Lunge, Membrane und Ausatemöffnung verursacht wird, konnte später leicht durch Lageangleichung von Ausatemventil und Membrane des Druckreglers an die Gleichdruckebene behoben werden.

[50] Der Begriff „Holzvergaser" ist insofern unkorrekt, als dass bei dieser Konstruktion der Brennstoff nicht vergast, sondern mit Frischluft vermischt wird. Richtig ist der Ausdruck „Luftgasmischer" anstelle „Holzvergaser". Da sich letzter aber eingebürgert hat soll er auch hier weiterverwandt werden.

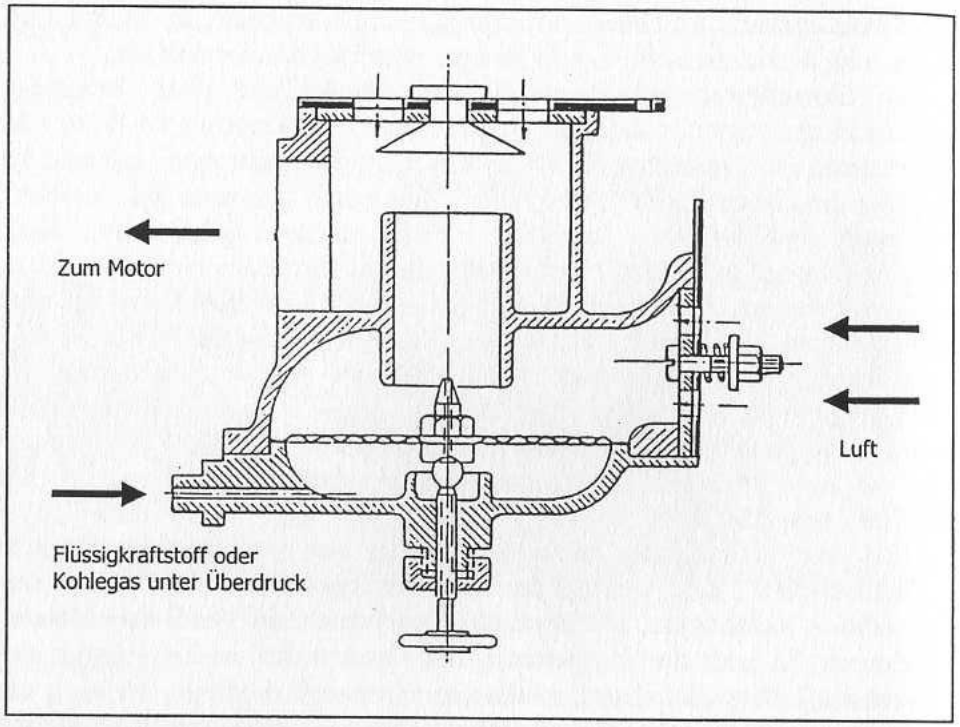


Abbildung 41:
Querschnitt durch einen Luftgasmischer oder sogenannten „Holzkohlevergaser" nach dem Prinzip von Blake. Bei ihm ist die Düse auf einer Metallmembrane so befestigt, dass eine darunter angebrachte und verstellbare Kugel als Abschlussorgan wirkt. Beim Ansaugen hebt sich die Membran von der Kugel ab, so dass der Brennstoff ausströmen kann. Eine Einstellung ist sowohl durch die Verstellung des Membranhubes mittels der Regulierschraube, als auch durch mehr oder weniger Zusatzluft (verstellbare Öffnungen im oberen Deckel) möglich.

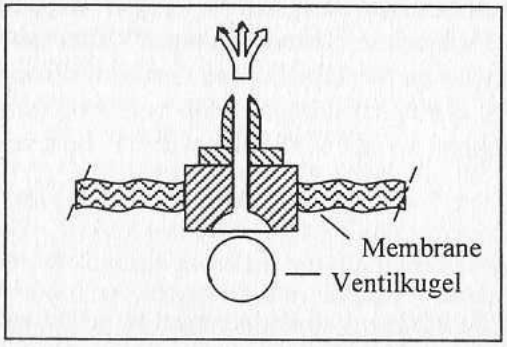


Abbildung 42:
Detailskizze zum Luftgasmischer. Innerhalb der Membrane befindet sich ein durchbohrtes Ventil. Jenachdem, wie weit sich das Ventil von der Kugel abhebt, strömt eine entsprechende Gasmenge durch die Bohrung zur Brennkammer.

Im Frühjahr 1943 war ein überarbeiteter, für den Taucheinsatz vorgesehener Prototyp fertiggestellt worden, den Cousteau im Juni 1943 in Bandol erhielt. Er schreibt: „Ich erhielt ein Paket aus drei Zylindern mittlerer Größe, die mit Druckluft gefüllt waren, einen klassischen Druckminderer und einen Druckregler von der Größe eines Nachtweckers." Der Atemregler arbeitete nach dem bekannten Verfahren: Der Druckminderer war die erste Stufe des Systems, die die Druckluft von 180 bar auf einen Druck von etwa 8 bar über dem Umgebungsdruck entspannte. Der Druckregler war die zweite Stufe und entspannte mit Hilfe einer Membrane, die über ein einfaches Hebelsystem ein Ventil öffnet, die Atemluft auf Umgebungsdruck.[51] Die Luftzufuhr erfolgte in genauer Abstimmung auf den in der jeweiligen Tiefe herrschenden Wasserdruck und nach Bedarf im Atemrhythmus, so daß der Taucher ohne Beschwerden atmen konnte und in den Pausen kein Luftverlust entstand.

Beide Stufen waren in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht. Einer der beiden flexiblen Faltenschläuche des Zweischlauchautomaten führte die Luft zum Mundstück, wo der Taucher sie Einatmete. Die Ausatemluft strömte durch ein Einwegventil durch den zweiten Faltenschlauch zu einem Entenschnabelventil, das sich unter der Schutzkappe des Druckminderers befand, also in nahezu der gleichen Ebene wie die Membrane lag. Der Taucher atmete durch das Mundstück die verbrauchte Luft in die Ausatemkammer unter der Reglerkappe durch das Entenschnabelventil in das Umgebungswasser ab, wo es in Blasen hochperlte. Eine der drei Flaschen hatte eine spezielle Reservevorrichtung, die bei einem geringen Restdruck aktiviert werden mußte. Die Flaschen bestanden aus Duraluminium, einer Legierung aus Aluminium und Magnesium, und hatten je 5 Liter Volumen.

Bei dem Atemregler von Cousteau handelte es sich also um einen zweistufigen Zweischlauchautomaten. Dadurch, daß inzwischen Flaschendrücke von fast 200 bar erreicht werden, geschieht die Entspannung auf Umgebungsdruck vorteilhafterweise in zwei statt in einer Stufe. In zweistufigen Atemreglern wird der Flaschendruck von 200 bar zunächst in einer ersten Stufe auf einen Mitteldruck reduziert. Die Kraft, die beim einstufigen Regler auf die Membrane wirkt und durch den Unterdruck entsteht, wird in der ersten Stufe des zweistufigen Reglers durch eine starke Feder erzeugt. Mit dieser Feder kann der Druck der ersten Stufe (Mitteldruckstufe) je nach Reglertyp auf 6 bis 12 bar über dem Umgebungsdruck eingestellt werden.

1943 bestand das Gerät seine ersten Prüfungen. Cousteau und seine Freunde unternahmen in diesem Jahr fast 500 Tauchgänge mit ihm. Zusammen mit Emile Gagnan beantragte Cousteau am 8. Juli 1943 in Frankreich

[51] Die Konstruktion war identisch zu dem 1940 von Gagnan-Bollard patentierten Regler.

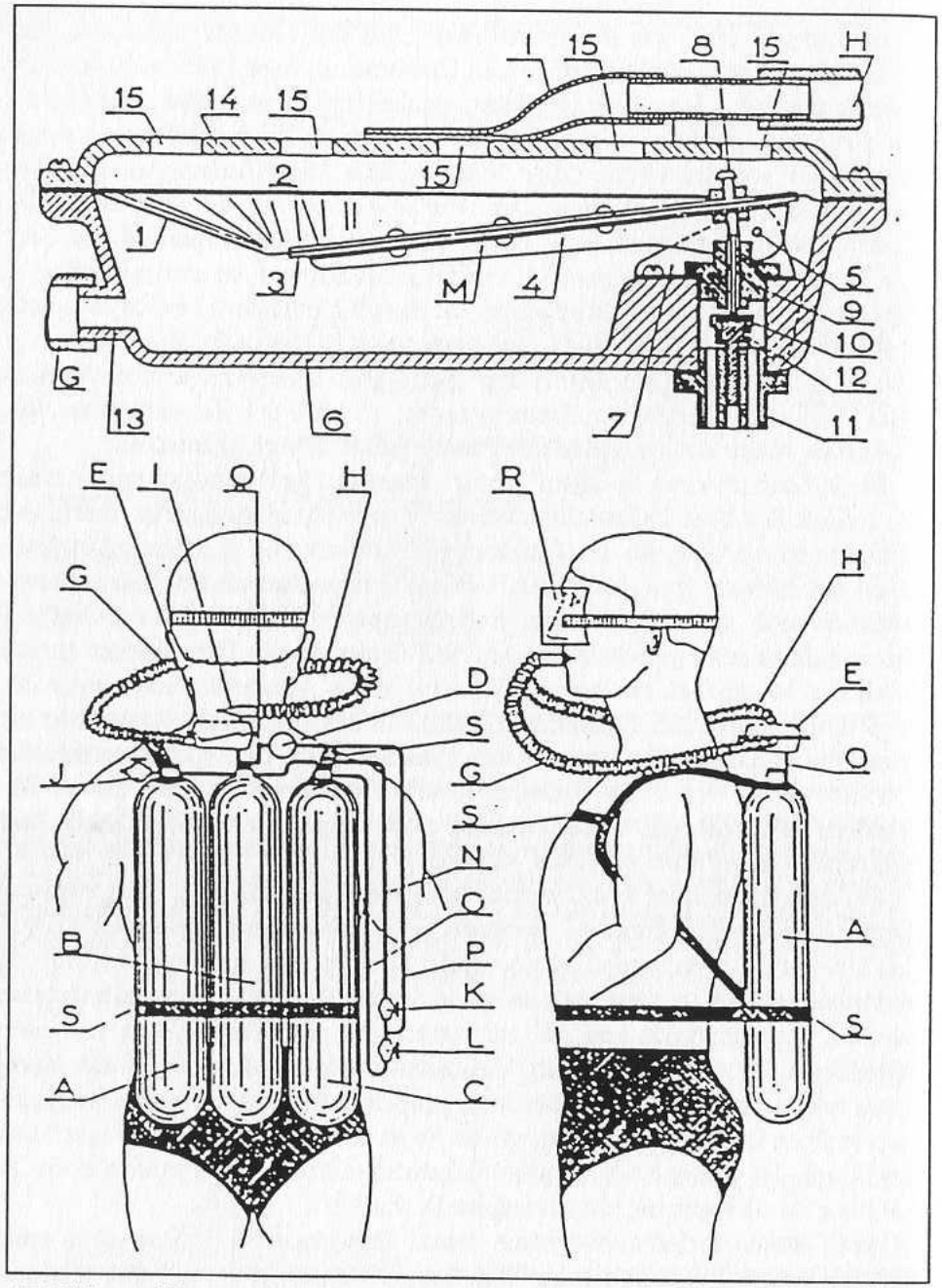


Abbildung 43:
Das autonome, offene Drucklufttauchgerät mit bedarfsgesteuertem Atemregler von Jacques-Yves Cousteau und Emile Gagnan. (Patent US 2.485.039)

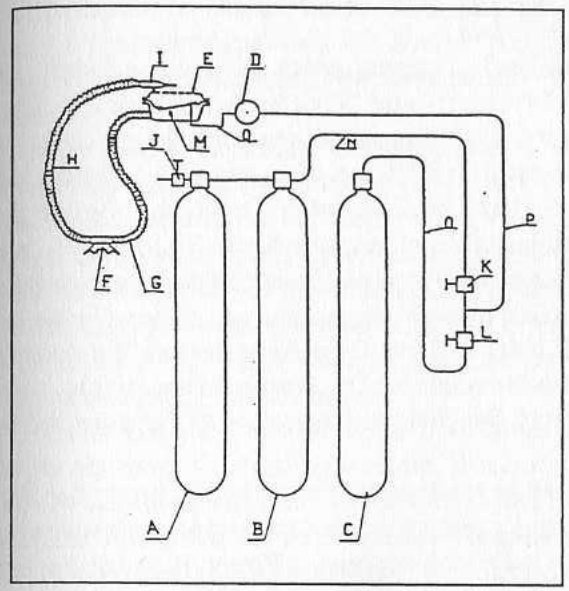


Abbildung 44:
Schema der Druckluftleitungen und des Flaschenpaketes von Cousteau-Gagnan.

Patentschutz. Sein erstes Patent bezog sich auf eine „Atemvorrichtung für Taucher mit offenem Kreislauf, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausatemventil unveränderlich auf der vom Boden des Membrangehäuses abgewendeten Seite derart nahe der Membrane angeordnet ist, daß der Abstand zwischen dem Druckzentrum der Membrane des Unterdruck-Druckminderers und des Ausatemventils geringer ist als die Höhe der Wassersäule, welche sich aus der Differenz zwischen den Drücken auf die Außen- und die Innenfläche der Membrane ergibt und welche geeignet ist, die Membrane anspringen und somit das Luftspeiseventil des Druckminderers sich öffnen zu lassen."[52]

Die Besonderheit der Konstruktion von Cousteau-Gagnan war nicht der bedarfsgesteuerte Atemregler - dieser war schon lange erfunden und nicht mehr patentfähig - sondern die Modifikation des Zweischlauch-Prinzipes in der Art, dass das Entenschnabel-Ausatemventil gleich neben der Membrane und in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht wurde. Durch diese Weiterentwicklung wurden bedarfsgesteuerte Atemregler vollkommen lageunabhängig unter Wasser einsetzbar.

Diese 1943 von Gagnan und Cousteau entwickelte „Aqualunge" wurde ab 1945 erfolgreich vermarktet und trägt die Bezeichnung CG 45 (Cousteau-Gagnan). Die Aqualunge erwies sich im Laufe der Jahre als Eintrittskarte zu der Welt unter Wasser, da dieses Druckluftgerät eine größere Sicherheit und Einsatztiefe besaß als das Sauerstoff-Kreislaufgerät. Es wurde das bedeu-

[52] Patente F 937.032 und DE 974.972.

tendste Gerät zur Erforschung der Unterwasserwelt und ist in seinem Grundprinzip bis heute unverändert geblieben.

Jacques-Yves Cousteau und Emile Gagnan nutzte die Tatsache, daß sich nun Dank der Fortschritte der Druckluft- und Werkstofftechnik im 20. Jahrhundert endlich Druckluftgeräte und Kompressoren mit einem höheren Fülldruck bauen liessen. Sie konnten deshalb ein autonomes Drucklufttauchgerät bauen, das genügend Sicherheit und Einsatzfähigkeit besaß. Neben der geringen Druckluftreserve, verursacht durch unzureichende Technologie, war es auch die jahrzehntelang erfolgreich erprobte Einsatzstärke der Helmtauchergeräte, welche einen sinnvollen und effizienten Einsatz dieser Geräte bis zu den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts verhinderte. Hätten Rouquayrol und Denayrouze bereits 1864 hochverdichtete Druckluftbehälter gehabt, wäre ihr autonomes, bedarfsgesteuertes Drucklufttauchgerät wohl nicht verdrängt worden.

Ab etwa 1945, mit Beginn seiner weltweiten Vermarktung, setzte der Siegeszug des modernen Drucklufttauchgerätes mit bedarfsgesteuertem Atemregler ein, und ihr über 100 Jahre lang schlummerndes Potential wurde endlich ausgeschöpft. Jetzt wurde diese Erfindung wieder aufgegriffen und bildete in Kombination mit hochkomprimierten Druckluftflaschen das Herzstück unserer heutigen Drucklufttauchgeräte, die dem Menschen die erste, wichtige Etappe auf dem Weg in die Tiefe erschlossen.

Cousteau popularisierte ab den 50er Jahren das autonome, bedarfsgesteuerte Drucklufttauchgerät und machte es durch industrielle Produktion der sich weltweit immer mehr steigernden Schar von Unterwasserenthusiasten zugänglich. Dabei konnte er auf der Welle der Unterwasserbegeisterung aufsetzen, die von vielen Tauchpionieren dieser Jahre in Bewegung gesetzt worden war.

Cousteau kann man als derjenige der Tauchpioniere mit dem größten kaufmännischen Spürsinn und besonderem Marketingtalent ansehen, denn er hat zielstrebig einen gewaltigen Erfolg aus der Aqualunge gemacht. Er hat sehr früh erkannt, welche enormen Entwicklungs- und Anwendungsmöglichkeiten sich dem autonomen Atemgerät öffnen, denn es ist nicht nur für Wissenschaftler wie etwa Biologen oder Archäologen interessant, sondern für jeden gesunden Menschen.

Die Ausweitung der Freizeitbetätigung hat den mit dem Wasser verbundenen Sportarten in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine gewaltige Entwicklung beschert. Auch wenn Cousteau an den technischen Entwicklungen nur vergleichsweise geringen Anteil haben mag, hat er doch durch seine Anstöße die bereits vorhandene Erfindung praxisgerecht weiterentwickelt und weltweit vermarktet. Zu Hilfe kam ihm dabei seine berufliche Einbindung in

die französische Marine sowie seine familiären Beziehungen zu L'Air Liquide. La Spirotechnique und US Divers, beides Tochtergesellschaft von L'Air Liquide, entwickelten ab 1946 die weiteren Patente und vertrieben die Geräte weltweit.[53]

Ab etwa 1946 brachte Cousteau über La Spirotechnique und US Divers die ersten industriell gefertigten Geräte auf den Markt. Es war nun nur noch ein kleiner Schritt, bis sie wegen ihrer Vorzüge und der aufblühenden Unterwassersportindustrie schnelle Verbreitung fanden. Durch die weltweite Kommerzialisierung wurde das autonome Drucklufttauchgerät Millionen Sporttauchern zugänglich und erschloß damit der breiten Öffentlichkeit den Zugang zu einer neuen Welt unter Wasser, die man bis dahin nur aus Beschreibungen und den wenigen Filmen kannte.

Emile Gagnan blieb dabei als Tauchtechniker und Erfinder nicht weniger aktiv als zuvor: Er wechselte seinen Wohnort von Paris nach Montreal, wo er in der kanadischen Filiale von L'Air Liquide arbeitete, und beantragte bis zu seinem Tod in den 60er Jahren eine Vielzahl weiterer Patente zu Atemreglern für Tauchgeräte. Dabei handelte es sich vorwiegend um Verbesserungen zur Erhöhung des Atemkomforts.[54]

Auch Yves Le Prieur blieb seiner Leidenschaft, der Tauchtechnik, treu, und patentierte am 10. Januar 1946 eine Vollgesichtsmaske mit einem kombinierten, bedarfsgesteuerten Atemregler.[55] Le Prieur verwandte bei seiner „Luftsparvorrichtung für Tauchmasken" ein eigenwilliges Konzept: Die Vollgesichtsmaske wurde als blasebalgartige Atemreglermembrane umfunktioniert. Die Sichtscheibe wurde durch den Unterdruck beim Einatmen zum Gesicht hin angesaugt und aktivierte dabei ein Hebelsystem. Ein Ventil oberhalb der Maske öffnete sich und Frischluft strömte in den Maskeninnenraum. Das Ausatmen geschah über ein Entenschnabelventil an dem Maskenoberteil.

Es gab nach dem Kriegsende noch eine ganze Anzahl weiterer Ideen, um Verbesserungen an dem autonomen Drucklufttauchgerät durchzuführen. Erwähnenswert ist hier auch die Konstruktion des Franzosen Georges Herail, der bei seinem „amphibischen Tauchgerät" eine kompakte Einheit aus Flaschenpaket und integriertem Atemregler schuf.[56] Interessant ist ebenfalls die

---

[53] Das amerikanische Patent US 2.485.039 vom 18. Oktober 1949 fasst die bisherigen gemeinsamen Erfindungen von Cousteau-Gagnan zusammen. US Divers vermarktete den CG 45 unter der Bezeichnung „DA". Der spätere, französische „Mistral"-Regler wurde in Amerika „DW" genannt.

[54] Patente DE 1.026.655 vom 04. Dezember 1954 und DE 1.028.013 vom 04. Februar 1956 zu einem „Atmungsgerät mit offenem Kreislauf für Taucher", US 2.875.756 vom 03. März 1959 für den „DX Überdruck-Regulator".

[55] Patent F 922.872.

[56] Patent F 1.073.608 vom 29. Januar 1953

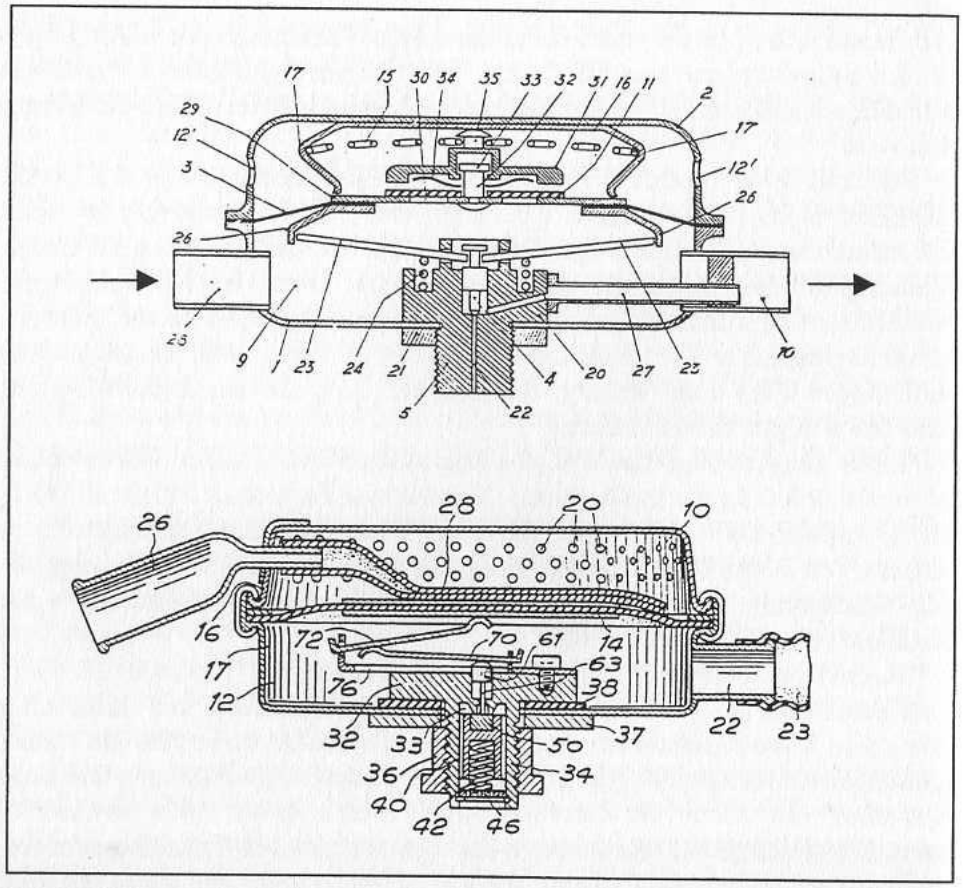


Abbildung 45:
Verbesserungen an der Atemreglerkonstruktion durch Emile Gagnan 1954 (oben, Patent DE 1.026.655) und 1956 (unten, Patent DE 1.028.013).

Erfindung des Schweizers David L. Jayet, der 1955 für die Schweizer Firma Ammafoco einen bedarfsgesteuerten Atemregler mit zwei Membranen ähnlich dem Prinzip des Richard von der Heide patentieren liess.[57]

Aber erst 1955 gab es eine besonders wichtige Erfindung: Jean-Armand-Louis Bronnec und Raymond-Maurice Gautier entwickelten einen Atemregler mit zwei Stufen, die räumlich voneinander getrennt und durch einen Druckschlauch miteinander verbunden sind.[58] Benoit Rouquayrol hatte 1866 einen zweistufigen Atemregler entwickelt, neu war die Trennung der zwei Stufen in verschiedene Gehäuse. So entstand der zweistufige Einschlauchautomat. Der

[57] Patent DE 1.023.357.
[58] Patent F 1.126.597.

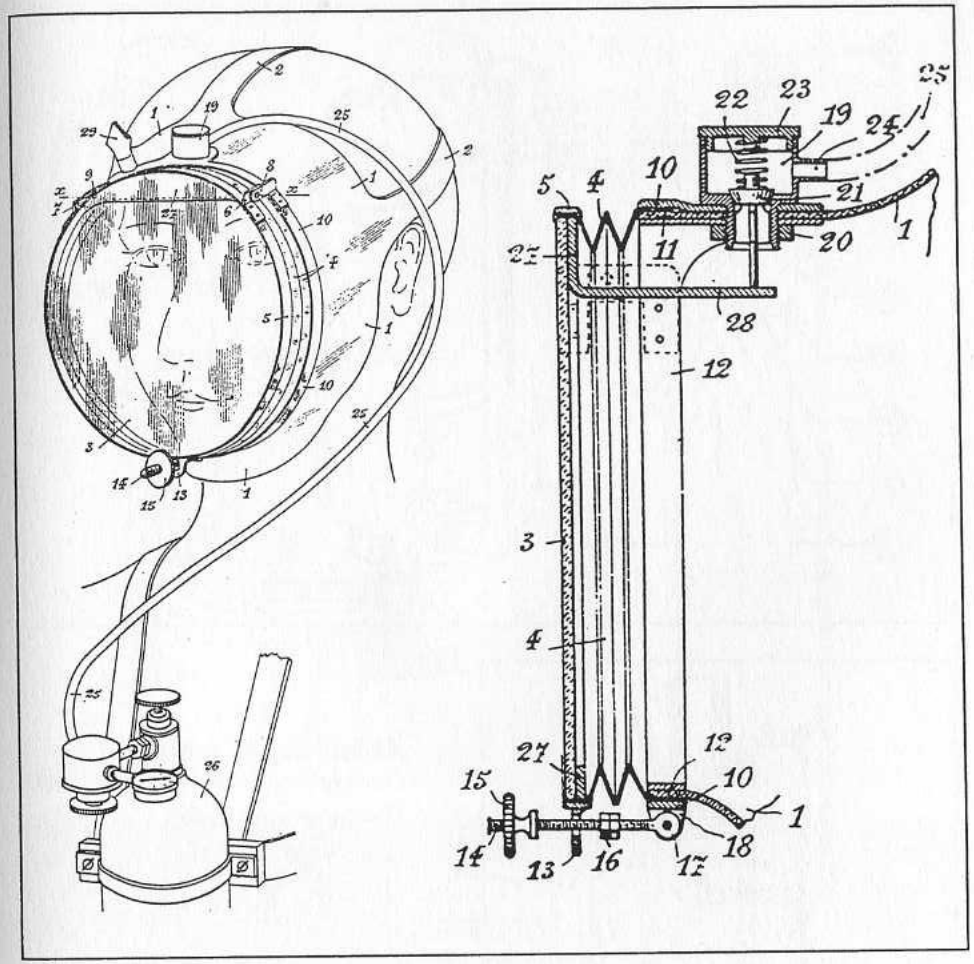
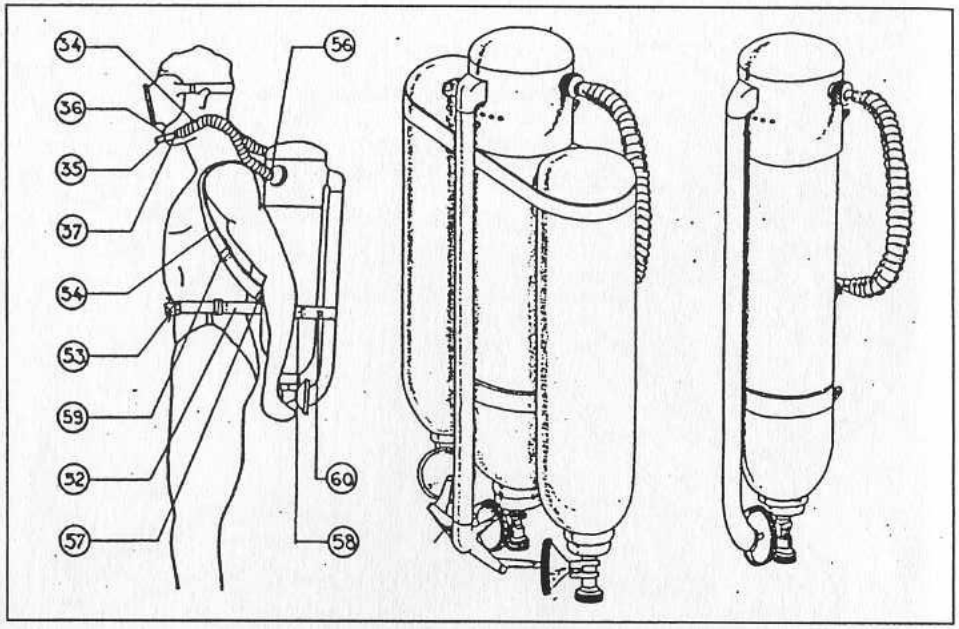


Abbildung 46:
Yves Le Prieur kombinierte 1946 seine Vollgesichtsmaske mit einem bedarfsgesteuerten Atemregler. Er verwandte die Sichtglasscheibe als Druckebene und ein daran angesetztes flexibles Gummiband als zylindrige Membrane (Prinzip von Charles Combes).(19) ist das Einlassventil, (29) das Entenschnabel-Auslassventil. (Patent F 922.872).

erste Druckminderer ist hierbei direkt an dem Flaschenventil montiert und liefert Luft unter einem Druck, der je nach Voreinstellung 3 bis 12 bar höher liegt als der Umgebungsdruck. Der zweite ist vom klassischen Prinzip mit Membrane und Einweg-Ausatemventil, die beide in das Mundstück integriert sind, so daß sie sich dicht beieinander in einer Ebene befinden. Die Membrane ist direkt am Mund, bei normaler Schwimmlage also in Lungenhöhe, so daß



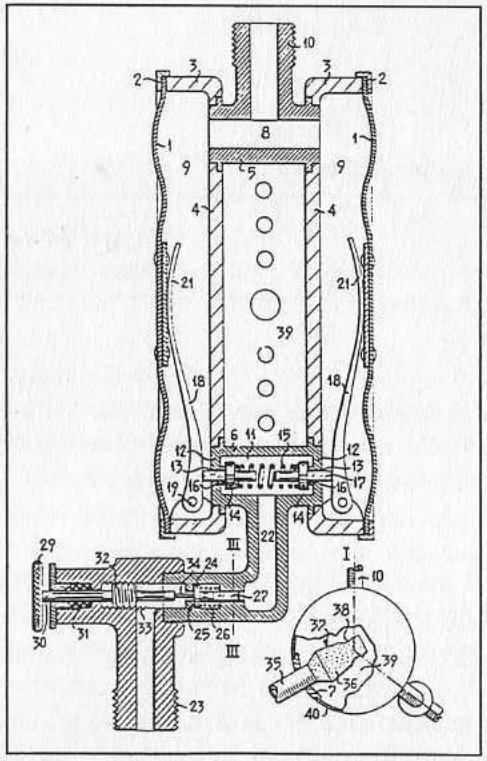


Abbildung 47 (oben):
Georges Herail, Januar 1953 (Patent F 1.073.608).

Abbildung 48 (links):
Atemregler mit zwei gegenüberliegenden Membranen von dem bei Ammafoco in Genf beschäftigten Schweizer David L. Jayet von 1955 (Patent DE 1.023.357).

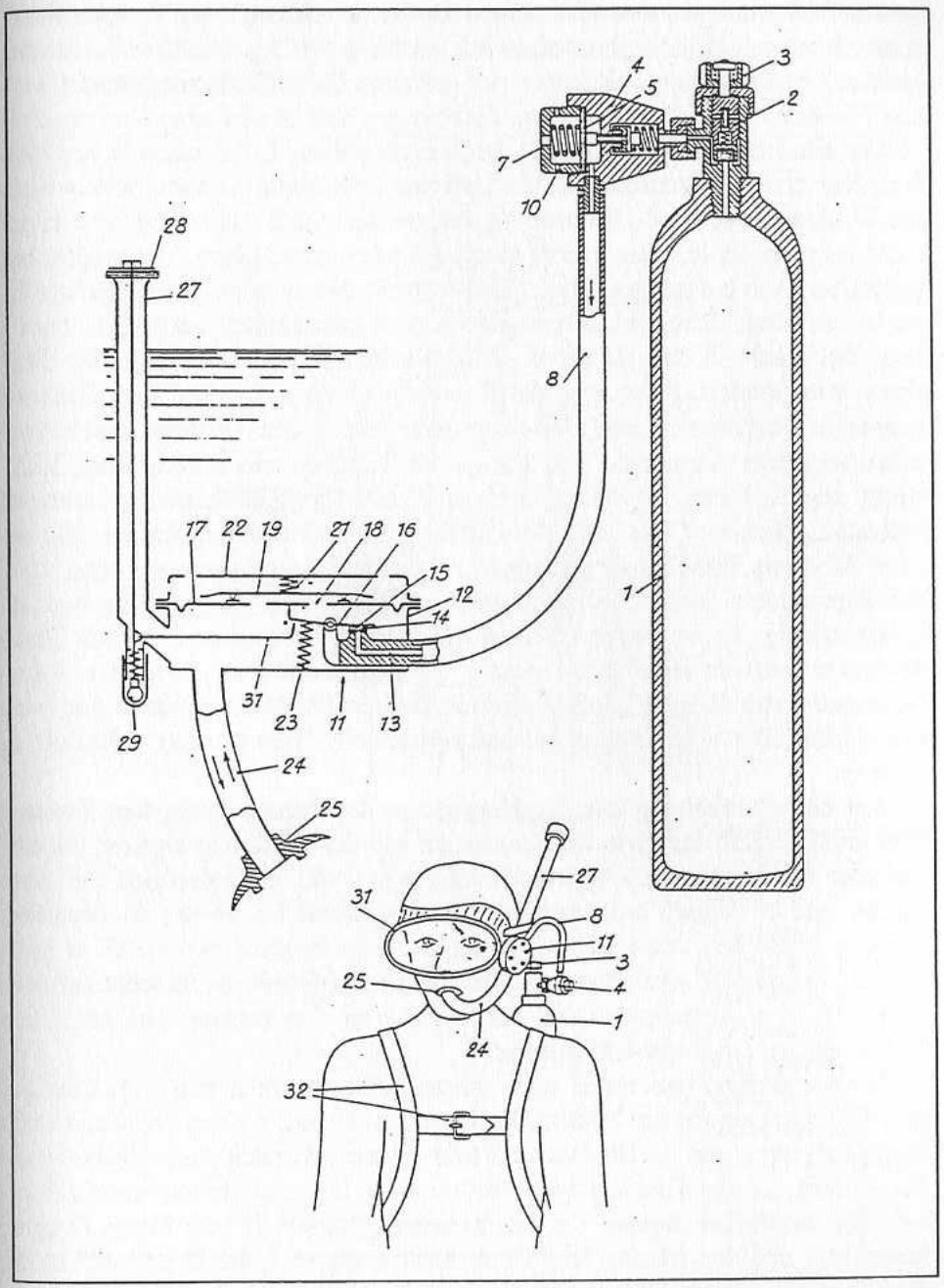


Abbildung 49:
Der zweistufige Einschlauchatemregler von Bronnec und Gautier, 1955.

kaum Differenzdruck entsteht. Diese Dosiereinrichtung, jetzt zweite Stufe oder „Lungenautomat" genannt, wird vom Unterdruck bei der Einatmung gesteuert und kann nun mit einem viel größeren Querschnitt ausgestattet werden. Sie liefert daher leicht größere Luftmengen und ist einfacher herzustellen.

Der Einschlauchautomaten hat den weiteren Vorteil, daß anstelle von großem Ein- und Ausatemschlauch die Luft nun über einen einzigen, relativ dünnen Druckschlauch mit Niederdruck der zweiten Stufe am Mundstück zugeführt werden kann. Der moderne Zweistufen-Einschlauch-Atemregler hat gegenüber dem einstufigen Regler den Vorteil, daß man mit ihm gleichmäßiger atmen kann. Zweischlauchautomaten sind sehr einfach aufgebaut, hatten aber den Nachteil, daß sich ihre Atemcharakteristik je nach Lage des Tauchers etwas ändert. Schwamm der Taucher beispielsweise auf dem Rücken, konnte es vorkommen, daß der Atemregler durch den Differenzdruck zwischen regelnder Membrane und Lunge des Tauchers einen konstanten Luftstrom abgab. Dieses Problem wurde erst mit dem Einschlauch-Atemregler vollständig behoben, der eine wesentlich bessere Einatemcharakteristik besitzt. Moderne Einschlauchautomaten haben inzwischen nur noch etwa 25% des Atemwiderstandes wie die alten Atemregler, und das vollkommen lageunabhängig. Er ist wegen seiner Vorteile im Sporttauchen heute als Standardgerät weltweit verbreitet. Dieses Prinzip wurde von der Firma La Spirotechnique erstmals beim Modell Aquilon aufgegriffen. Heute gibt es nur noch einen Hersteller von Zweischlauchautomaten für Sporttaucher: Nemrod in Spanien.

Mit der Ausbreitung des Tauchsports in den Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg begann fast jede Industrienation mit der Fertigung eigener Varianten von Atemreglern: La Spirotechnique war 1946 in Frankreich die erste Firma, und es folgten mit wenigen Jahren Abstand US Divers in Amerika, AGA in Schweden, Nemrod in Spanien, Davis in England und Pirelli in Italien. „Do-it-yourself"-Anleitungen halfen dem risikofreudigen Taucher bei dem Eigenbau von Atemreglern auf der Basis von Gasmasken und einfachen Druckreglern von Sauerstoffflaschen.[59]

In Deutschland dauerte es noch einige Jahre, bis deutsche Fabrikate auf den Markt kamen. In den Nachkriegsjahren waren es vor allem die Sauerstoff-Kreislaufgeräte, die in Deutschland und Österreich nach dem Vorbild von Hans Hass für das Tauchen verwandt wurden. Das erste kommerzielle deutsche Druckluft-Tauchgerät, der Pendelatmer „Delphin II" der Firma Dräger, kam 1954 auf den Markt. Das Gerät besass eine 5 Liter Druckluftflasche. Etwas später brachte Dräger das Tauchgerät Atlantik mit dem Zweischlauch-

[59] Pfister, Herb: How to build and use a Diving Lung. In: *Popular Science Monthly*, Juli 1953.

automaten „PA 60" heraus. Aber auch andere Firmen begannen in Deutschland mit dem Bau von Tauchgeräten, wie etwa die Firmen Auer oder Matter.

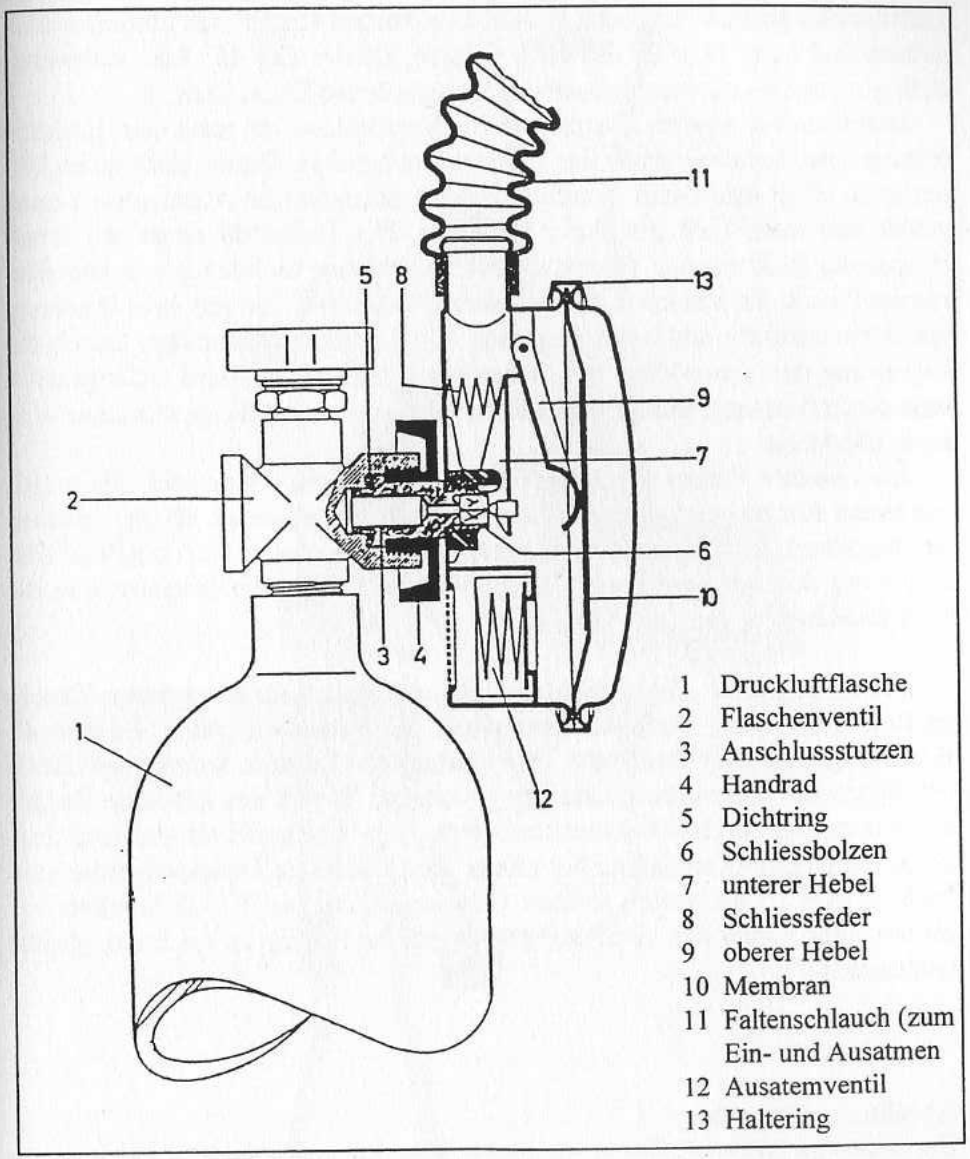


Abbildung 50:
Der Regler „Dräger Delphin II" von 1954.

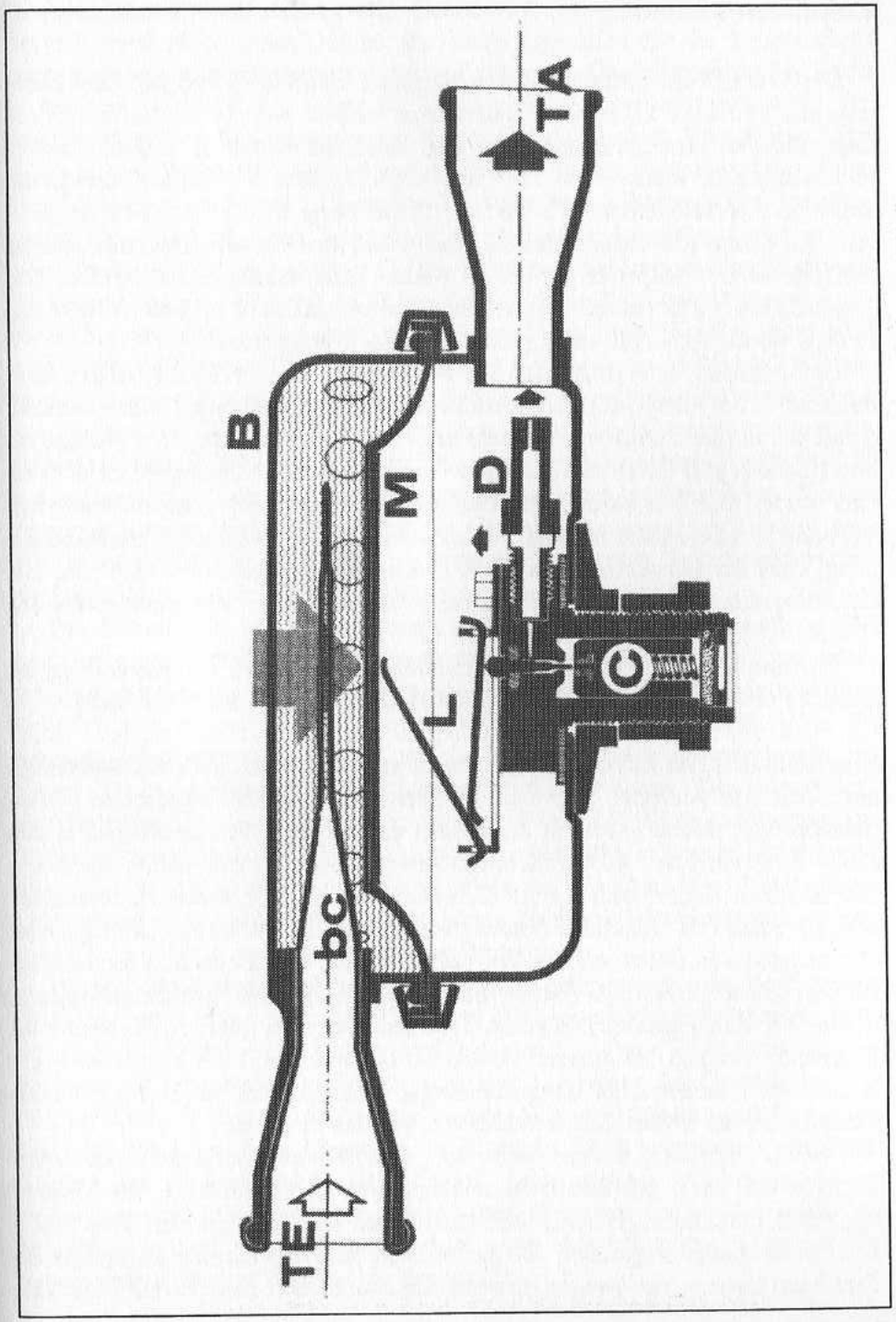
Zu einem der verbreitesten Atemregler der Welt wurde Mitte der fünfziger Jahre der französische, einstufige Zweischlauch-Atemregler „Mistral" von Spirotechnique. Er war der Nachfolger des CG 45 und verwandte das Prinzip des Injektors, das erstmals 1839 von Augustus Siebe in dessen Helmtauchergeräten eingesetzt wurde. Der Mistral-Regler war einfacher aufgebaut und hatte über 20 Bauteile weniger als der CG 45. Sein weltweiter Erfolg verdankt er seiner Robustheit, Sicherheit und Einfachheit.

Hauptneuheit an dem Mistral war die Venturidüse, die nach dem Injektorprinzip eine Beschleunigung des Luftstromes bewirkt. Dieser zusätzliche Unterdruck öffnet das Ventil zwischen Druckluftflasche und Atemkammer noch weiter und mehr Luft tritt durch die Düse. Der Luftstrahl reisst aus seiner Umgebung Luft mit und fördert dadurch die Menge an Atemgas in den Einatemschlauch. Es handelt sich also hierbei in erster Linie um eine Erhöhung des Atemkomforts durch Verringerung des Einatemwiderstandes. Durch die Ergänzung der Venturidüse mit Kompensationsöffnungen wird sichergestellt, dass dieser Vorgang nicht unkontrolliert und ungebremst die gewünschte Wirkung übersteigt.

Eine weitere Verbesserung des Mistral betrifft das Mundstück. Es wurde mit einem Rückschlagventil versehen, wodurch ein teilweises Wiedereinatmen der Ausatemluft verhindert wird. Hintergrund war eine weitestmögliche Eleminierung des Kohlendioxids und ein Verhindern des Wassereintritts in die Faltenschläuche.

Zur Mitte des 20. Jahrhunderts gab es eine ganze Reihe erprobter Tauchgeräte, wie etwa oberflächenversorgte Helmtauchergeräte, Sauerstoff-Kreislaufgeräte oder autonome Druckluftgeräte. Letztere wurden im Laufe der folgenden Jahre immer häufiger bevorzugt. Wegen des größeren Sicherheitsfaktors wurde das Drucklufttauchgerät zum Standardgerät und verdrängte die Sauerstoff-Kreislaufgeräte immer mehr. Heutige Druckluftgeräte sind im Vergleich zu den ersten solchen Geräten des frühen 19. Jahrhunderts natürlich stark verbessert, doch das grundsätzliche Prinzip ist noch das gleiche wie damals.

Abbildung 51 (rechts):
Der einstufige „Mistral" Regler der Firma Spirotechnique war der Nachfolger des zweistufigen CG 45 von Cousteau-Gagnan und verwandte das Prinzip des Injektors mittels einer Venturi-Düse („D").
Aus: *Poulet, Guy und Barincou, Robert: Tauchsport.* München, 1972.



Zusammenfassung

Der Wunsch des Menschen, sich längere Zeit unbeschwert auf dem Meeresgrund aufhalten zu können, führte dazu, daß er technische Hilfsmittel ersann, die ihm dies ermöglichen sollten. Zunächst waren es einfache Saugrohratemgeräte, welche sich aber aus physiologischen Gründen schnell als ungeeignet herausstellten. Der nächste Schritt ging hin zu den Taucherglokken. Mit diesen seit vielen Jahrhunderten bekannten Geräten konnten einfache Arbeiten unter Wasser in bis zu 30 Meter Tiefe durchgeführt werden. Die Taucherglocke war jedoch zu unförmig und umständlich in ihrer Bedienung, so dass sie für viele Anwendungsfälle nicht mehr ausreichte.

Es bestanden zwei grundsätzliche Probleme: Zuerst musste Atemluft ausreichend hoch komprimiert in handlichen Behältern untergebracht werden, damit die mitgenommenen Reserven dem Taucher einen längeren Aufenthalt ermöglichten und durch die Baugrösse nicht allzusehr behinderten, und zweitens musste der kostbare Luftvorrat möglichst sparsam, entsprechend dem Verbrauch, konsumiert werden. Hinzu kam als erschwerende Rahmenbedingung, dass der Umgebungsdruck mit zunehmender Tauchtiefe steigt und aus physiologischen Gründen die Atemluft variabel mit dem entsprechenden Druck bereitgestellt werden muss.

Um eine grössere Mobilität zu erreichen, wurden 1792 von Joseph August Schultes einfache Druckluftbehälter empfohlen, wie sie auch bei Luftgewehren Anwendung fanden. Aus den kugelförmigen Druckluftbehältern sollte Frischluft in einen offenen Taucherhelm strömen. Um dabei den kostbaren und noch sehr geringen Luftvorrat möglichst ökonomisch einzusetzen schlug Schultes vor, nur in gewissen Abständen einen kurzen Frischluftstoss in den Helm einströmen zu lassen. Solche autonome, offene Taucherhelme wurden in den nächsten Jahrzehnten bis zur Erfindung des geschlossenen Helmtaucheranzuges auch von weiteren Erfindern vorgeschlagen und praktisch eingesetzt. Die meisten von ihnen verzichteten dabei auf die ökonomische Frischluftdosierung. Diese „Free-flow-Geräte" oder „Spültauchgeräte" genannten Apparate brachten eine passable Mobilität, besassen aber zwei gravierende Nachteile: Einerseits entstand ein grosser Verlust an ungenutzter Atemluft, andererseits konnte der Taucher nicht Lageunabhängig arbeiten, denn ab einem gewissen Grad drohte der offene Taucherhelm voll Wasser zu laufen.

Mit der Erfindung des geschlossenen, oberflächenversorgten Helmtaucheranzuges war zwar ein sehr grosser Fortschritt zu verzeichnen, der Wunsch nach dem autonomen Tauchen blieb aber nach wie vor bestehen. Was fehlte, war ein spezieller Regulator, der hier Abhilfe schaffen konnte: Es musste der Druckluftzustrom der entsprechenden Tauchtiefe und dem Bedarf des Tauchers angepasst werden. Die ersten einfachen Regulatoren entstanden Anfang des 19. Jahrhunderts. Sie wurden aber nicht eigentlich für die Tauchtechnik entwickelt, sondern stammten aus der aufblühenden Gaslichttechnik Englands. In London wurde 1825 von Samuel Crosley ein Gasregulator entwickelt, der das grundlegende Funktionsprinzip mit der einseitig dem Umgebungsdruck ausgesetzten Membrane und konischem Ventil besass. Vorausgegangen war eine Erfindung von Samuel Clegg von 1815 für grosse Stadtgas-Druckregler.

Im Laufe der nächsten Jahrzehnte wurden diese Leuchtgasregler weiterentwickelt und auch einige Male für den Einsatz in autonomen Druckluftgeräten vorgeschlagen, wie etwa 1827 von Jean-Jeremie Pouilliot. Der erste praktische Einsatz eines bedarfsgesteuerten Atemreglers beim Tauchen fand 1839 statt, als der Franzose Theodore Guillaumet ihn in bis zu 16 Meter Tiefe einsetzte. Er war allerdings noch oberflächenversorgt und nicht autonom. Benoit Rouquayrol und Auguste Denayrouze patentierten ihren tornisterartigen Regulatorapparat 1864 und stellten ihn anschliessend serienmässig her. Er konnte sowohl in seiner schlauchversorgten als auch schlauchlosen Version verwandt werden und war zunächst als Grubenrettungsgerät entwickelt worden. Ihnen gebürt das Verdienst, als erste ein autonomes Tauchgerät mit bedarfsgesteuertem Atemregler eingesetzt zu haben.

Die frühen Regulatorgeräte konnte sich jedoch nicht durchsetzen, da der Luftvorrat, den der Taucher mit nach unten nehmen konnte, noch zu gering war. Es gab damals weder Hochdruckpumpen noch entsprechende handliche Behälter, die einen höheren Druck aushalten konnten. Deshalb blieb der Atemregulator solange für Tauchzwecke unbeachtet, bis entsprechende, mit bis zu 200 bar gefüllte Druckluftflaschen verfügbar waren. Der französische Tauchpionier Yves Le Prieur baute vor dem Zweiten Weltkrieg ein autonomes Drucklufttauchgerät, allerdings noch ohne bedarfsgesteuerten Atemregler. Sein Tauchgerät spielte zwar für die Weiterentwicklung der Tauchtechnik keine grosse Rolle, allerdings popularisierte Le Prieur das Sporttauchen sehr stark und gilt heute zu Recht als dessen Stammvater.

Einen bedeutsamen technischen Fortschritt gab es erst, als der Franzose Georges Commeinhes zwischen 1937 und 1944 sein bedarfsgesteuertes, autonomes Drucklufttauchgerät baute und in bis zu 53 Meter Tiefe erprobte. Leider war es Commeinhes nicht vergönnt, den Siegeszug des Druckluftgerätes mitzuerleben, da er im Krieg getötet wurde. Wenige Monate nach Commeinhes baute Jacques-Yves Cousteau im Frühjahr 1943 gemeinsam mit Emile Gagnan ein verbessertes Gerät, erkannte seine grossen Marktchancen und verkaufte es ab 1946 weltweit. Damit schuf Cousteau der breiten Masse die Möglichkeit, den lange gehegten Traum eines unbeschwerten, längeren Unterwasseraufenthaltes Realität werden zu lassen.

Literaturverzeichnis

Académie des sciences: Rapport sur une cloche à plongeur inventée par M. Guillaumet. In: *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*. Paris, Tome IX, 1839, No. 12, S. 363-366.

Augustinski, Gert: *Von der Luftblase zum Taucherhelm*. Selbstverlag, Petersberg, 1994.

Appareil du Rouquayrol. In: *Annales du Génie civil*, Mai 1865, S. 327ff. Übersetzt in Deutsch und abgedruckt mit Illustrationen in: *Dinglers polytechnisches Journal*, 1865, Band 178, S. 25-29.

Bauer, J.A. und Bauer, S.E.: The earliest inventor of the Demand Regulator. In: *HDS Newsletter*, Nr. 14, Dezember 1995, S. 7-14.

-,-: The Origins of The Demand Regulator. Vortrag gehalten in Espalion (F), Oktober 1997.

Bevan, John: The first demand valve. In: *Diver*, London, Vol. 34, Nr. 2, 1989, S. 36.

-,-: *The infernal diver*. London, 1996.

Borreli, J. Alfonso: *De motu animalium*. Ed. Nova Neapolitania, Naples, 1734. Deutsch: *Die Bewegung der Tiere*. Leipzig, 1927.

Combes, Charles: *Handbuch der Bergbaukunst*. Deutsch von Carl Hartmann. Weimar, 1845.

Cousteau, Jacques-Yves und Dumas, Frédéric: *Die schweigende Welt*. Berlin, 1953.

Copcutt, T.: *Cottage Gas Works, etc., and Portable Gas*. 1860.

David, Daniel: Lemaire d'Augerville - A great forgotten Pioneer of autonomous Diving. In: *Historical Diver*, No. 21, Herbst 1999. S. 25-31.

Dick, Carl: *Handbuch der Seemannschaft*. Berlin, 1893.

Dick, Peter: What has a Tea seller got to do with diving? Origins of the demand regulator. In: *HDS Times*, Nr. 16, Sommer 1996, S. 18-21.

Eckermann, Erik: *Alte Technik mit Zukunft, Die Entwicklung des Imbert-Generators*. München, 1986.

Foex, Jean-Albert: *Der Unterwassermensch*. Stuttgart, 1976.

Hasslacher: Die Rouquayrol-Denayrouze'schen Taucher-, Athmungs- und Beleuchtungs-Apparate und ihre Anwendung beim Bergbau. In: *Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinen-Wesen im preussischen Staate*. Berlin, 1874, Band 22, S. 1-17.

Jüngst, Fritz: Die Vorgeschichte der Atmungsapparte im Bergbau. In: *Glückauf*, 45. Jahrg., Nr. 24, 12. Juni 1909, S. 833-844 und 875-891.

Jung, Michael: *Das Handbuch zur Tauchgeschichte*. Stuttgart, 1999.

-,-: *Tauchgeschichtekompendium Karl Heinrich Klingert*. Merzig, 1998.

-,-: *Tauchgeschichtekompendium Joseph August Schultes*. Merzig, 1998.

-,-: Theodore Guillaumet's Versuche mit seinem bedarfsgesteuerten Atemregler. In: *Divemaster-Magazin*, Stuttgart, Heft 4/98, S. 53-55.

-,-: Die Entwicklung des bedarfsgesteuerten Atemreglers. In: *Divemaster-Magazin*, Stuttgart. 4 Teile in Heft 4/99-3/2000.

Ludwig von Bremen: Taucher-Apparate System Rouquayrol/Denayrouze in Paris. In: *Dinglers polytechnisches Journal*, Augsburg, Band 208, Heft 4, 1873, Seite 241-262.

-,-: Die bei Ludwig von Bremen & Co. hergestellten Atem- und Tauchgeräte von Rouquayrol/Denayrouze. Nachdruck der Gerätebeschreibungen von 1873-1876. Merzig, 1998.

Larson, Howard Egon: *A History of Self-Contained Diving and Underwater Swimming*. National Academy of Sciences - National Research Council, Washington, 1959.

Le Prieur, Yves (Commandante): *Premier de plongée*. Paris, 1956, Reprint 1991.

Michel, Jacques: *Trois inventeures mecconus*. Espalion, 1980.

Mouton, Patrick: Tauchpionier Yves Le Prieur. In: *tauchen*, Hamburg, H. 12/85, S. 28-29.

Murdock, Wiliams: An Account of the Application of the Gas from Coal for Economical Purposes. In: *Philosophical Transaction* of the Royal Society, Pt. 1, 1808, S. 124-132.

Pesce, G.-L.: *La Navigation Sous-Marine*. Paris, 1906.

Poulet, Guy und Barincou, Robert: *Das Große Buch vom Tauchsport*. München, 1972.

Ramdohr, L.: Neuere Athmungs- und Beleuchtungsapparate für den Aufenthalt in irrespirablen Gasen und unter Wasser, für Bergwerke, chemische Fabriken, bei Bränden usw.. In: *Dinglers polytechnisches Journal*, Augsburg, Band 220, 1876, Heft4, S. 351-366, und Heft 5, S. 417-427.

Rebikoff, Dimitri: *Exploration Sous-Marine*. Paris, 1952.

Riedel, Gottfried und Lösekrug, Friedrich: *Der Umbau der Ottomotoren und Dieselmotoren für den Generatorbetrieb*. Berlin, 1943.

Ruth, Karl Heinz: Das Grubenrettungswesen auf den Gruben an der Saar bis zur Gründung der Hauptrettungsstelle in Friedrichsthal im Jahre 1936. In: Ring Deutscher Bergingenieure e.V. RDB (Hrsg.): *Bergbau*, 24. Jahrgang, November 1973, S. 259-267 und Dezember 1973, S. 285-296.

Scheyer, Werner: *Flaschen, Ventile, Reserveschaltungen*. Stuttgart, 1992.

-,-: *Lungenautomat*. Stuttgart, 1994.

Serlo, Albert: *Leitfaden zur Bergbaukunde*. Berlin, 1878.

Siebe, Henry: *The Conquest of the Sea*. New York, 1874.

Speter, Max: Respirationsapparate von Hales bis Humboldt. In: *Drägerheft* Nr. 166, Lübeck März/Mai 1933, S. 2284-2290.

Stelzner, Hermann: *Tauchertechnik*. Lübeck, 1943.

Sténuit, Robert: 50 Jahre Lungenautomat. In: *tauchen-Magazin*, Hamburg, Heft 11/93, S. 70-76.

-,-: Geschichte des Tauchens. In: *tauchen-Magazin*, Hamburg, Heft 8/89, S. 63-65, und Heft 9/89, S. 14-19.

Vallintine, Reg: *Divers and Diving*. Poole, 1981.

Williams, Trevor I.: *A History of the British Gas Industry*. Oxford, 1981.

Personenregister

der im Text (ohne Bildunterschriften und Anmerkungen) erwähnten Personen:

Aristoteles: 14, 16, 17
Aronnax: 63

Becher, Johann: 40
Bollard, Robert: 81
Borelli, Johann Alfons: 20
Bremen, Ludwig von: 63
Bronnec, Jean-Armand: 90

Cavallo, Tiberius: 33
Clegg, Samuel: 41, 43, 99
Combes, Charles: 49, 50, 56, 68, 78
Commeinhes, Georges: 76-80, 99
Commeinhes, Rene: 76
Concordet: 34
Cousteau, Jacques-Yves: 80, 83, 85, 87-89, 99
Crosley, Samuel: 43, 99
Cyana: 12

D'Augerville, Lemaire: 27, 28
D'Hambersin, Phillipe Lebon: 40
Denayrouze, Auguste: 55, 62-67, 88, 99
Denayrouze, Louis: 63
Dick, Carl: 62
Drexler, Carl: 67

Ferguson, Edward: 52, 53
Fernez, Maurice: 72, 73

Gagnan, Emile: 80, 81, 83, 85, 87-89, 99
Gautier Raymond-Maurice: 90
Girtanner: 34, 37, 39
Gordon, D: 41
Guillaumet, Theodore: 46, 48, 49, 99

Hales, Stephan: 32-34, 38
Halley, Edmund: 21
Hass, Hans: 94
Heard, E.: 41
Heide, Richard von der: 69, 90
Herail, Georges: 89
Herodot: 12
Humboldt, Alexander von: 33, 36-39, 64

Imbert, Georges: 81

James, William Henry: 26, 27
Jayet, David L.: 90

Karl V.: 18, 19
Klinger, Richard: 67
Klingert, Karl Heinrich: 25, 26, 73

L'Aulnaye, Francois H. L. de: 35, 36, 38
Lavoisier: 34
Le Prieur, Yves: 72-76, 80, 89, 99
Leffingwell, M.: 53, 54
Livius, Titus: 18
Löhneyss, V.: 31
Lorena, Guglielmo di: 20
Louis XIV: 13
Lucanus: 18

Macquart, D.: 35
Marchi, Francesco de: 20
Melchior, Simon: 80
Menziers, Robert: 34, 38
Minckelaers, Jan Pieter: 40
Murdock, William: 40, 41

Nemo, Kapitän: 63

Ohgushi: 69, 70, 71
Oppian: 10

Parkinson: 51
Perseus: 18
Petit, Charles: 66
Philon aus Byzanz: 18
Phips, William: 19
Piel, Rene: 66
Pittard, Jean-Jacques: 75
Platon: 16
Pouilliot, Jean-Jeremie: 44-46, 49, 99
Pristley, Joseph: 34

Roth, Johannes: 13
Rouquayrol, Benoit: 49, 55, 56, 58, 62-67, 88, 90, 99
Rozier, Pilatre de: 34-36, 38, 39

Scheele, Carl-Wilhelm: 34
Schultes, Joseph August: 23, 24, 98
Scyllias: 12
Siebe Augustus: 49, 96
Smeaton, John: 22
Stelzner, Hermann: 11

Taisnier, John: 19
Thukydides: 12

Vernes, Jules: 63, 65

Welleba, Franz: 67
Winsor, Frederick: 41

Xerxes: 12

Der bedarfsgesteuerte Atemregler, oft auch "Lungenautomat" genannt, ist Herzstück und unverzichtbarer Bestandteil unserer modernen Tauchausrüstung. Er passt den Atemluftzustrom der entsprechenden Tauchtiefe und dem Bedarf des Tauchers an. In Kombination mit einer Druckluftflasche entstand das autonome Drucklufttauchgerät, das ab Mitte des 20. Jahrhunderts den Unterwasserraum endgültig erschloss. Damit schuf man die Möglichkeit, den lange gehegten Menschheitstraum eines unbeschwerten, längeren Unterwasseraufenthaltes Realität werden zu lassen.

In seiner Dokumentation **Atemreglerhistorie** berichtet Michael Jung von dem Entwicklungsweg und den wichtigsten Stationen. Der bedarfsgesteuerte Atemregler geht nicht auf einen einzelnen Erfinder zurück - viele Ansätze mussten gemacht und unzählige Erfindungen kombiniert werden, bis er wirklich funktionsfähig und universell einsetzbar wurde. Die allerersten Konstruktionsversuche gehen zurück bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts, und es gab in den darauffolgenden Jahrzehnten ebenso viele Rückschläge und "Neuerfindungen" wie auch Anleihen bei anderen Technologiezweigen wie etwa der englischen Gaslichttechnik, dem französischen Grubenrettungswesen oder der deutschen Automobil-Antriebstechnik.

Verlag
Andrea Kriesbach-Jung

ISBN 3-933234-05-0